



HELSINGIN YLIOPISTO

Biologian yliopisto-opiskelijoiden  
virhekäsitykset fotosynteesistä

Anttoni Kervinen

Pro gradu -tutkielma

Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta

Biotieteiden laitos, kasvibiologia

Toukokuu 2015

Tiedekunta/Osasto – Fakultet/Sektion – Faculty Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta		Laitos – Institution – Department Biotieteiden laitos	
Tekijä – Författare – Author Anttoni Kervinen			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Biologian yliopisto-opiskelijoiden virhekäsitykset fotosynteesistä			
Oppiaine – Läroämne – Subject Kasvibiologia			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma		Aika – Datum – Month and year Toukokuu 2015	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 89+7
Tiivistelmä – Referat – Abstract			
<p>Viime vuosikymmeninä tiedonalakohtaista oppimista on tutkittu paljon käsitteellisen muutoksen näkökulmasta. Käsitteellinen muutos tarkoittaa oppijan tietorakenteiden muuttumista tai jäsentymistä virheellisistä kohti tieteellistä mallia. Käsitteellisen muutoksen teorioiden mukaan oppijoiden aikaisempien virhekäsitysten tunteminen ja huomioiminen on keskeistä oppimisen ja opetuksen onnistumisen kannalta. Tässä tutkimuksessa selvitettiin biologian yliopisto-opiskelijoiden fotosynteesiin liittyviä virhekäsityksiä, niiden muuttumista opetustekstin lukemisen seurauksena sekä biologian pääaineopiskelijoiden ja sivuaineopiskelijoiden virhekäsitysten eroja. Suomalaisen opiskelijoiden virhekäsityksiä on aiemmin tutkittu niukasti. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää virhekäsityksiä suomalaisen opetussuunnitelmien mukaan opiskelleilta opiskelijoilta sekä selvittää virhekäsitysten yksityiskohtaista muuttumista käsitteellisen muutoksen näkökulmasta.</p> <p>Tutkimuksen aineistona oli yliopiston biologian peruskurssin opiskelijoiden (<math>n=171</math>) vastaukset fotosynteesiä ja sen ekologista merkitystä koskeviin avoimiin kysymyksiin. Opiskelijat vastasivat kysymyksiin ennen opetustekstin lukemista, heti opetustekstin lukemisen jälkeen sekä kaksi viikkoa lukemisen jälkeen. Aineisto analysoitiin laadullisin menetelmin kuvaamalla, tyypittelemällä ja tulkitsemalla havaittuja virhekäsityksiä. Virhekäsitysten tulkinnassa hyödynnettiin tiedon ja ajattelutaitojen tasojen luokittelua.</p> <p>Opiskelijoilla havaittiin yhteensä 58 fotosynteesiä koskevaa selkeästi virheellistä käsitystä ja 14 puutteellista tai epämääräistä käsitystä. Virhekäsitykset liittyivät fotosynteesireaktioon, kasvien rakenteisiin, kasvin energiatalouteen ja fotosynteesin ekologiseen merkitykseen. Lähes kaikki virhekäsitykset ja puutteelliset käsitykset olivat yleisempiä biologian sivuaineopiskelijoilla kuin pääaineopiskelijoilla. Virhekäsitykset vähenivät opetustekstin lukemisen seurauksena, ja monimutkaisempia tiedon ja ajattelutaitojen tasoja ilmentävät virhekäsitykset vähenivät vähintään yhtä paljon kuin muutkin. Lukuisia virhekäsityksiä kuitenkin säilyi oikeat vastaukset antaneesta opetustekstistä huolimatta. Kaksi viikkoa opetustekstin lukemisen jälkeen osa jo virhekäsityksensä korjanneista opiskelijoista vastasi jälleen virheellisesti.</p> <p>Tutkimus osoittaa, että suomalaisen peruskoulun ja lukion fotosynteesin oppimista koskevat tavoitteet eivät täyty edes monen biologian yliopisto-opiskelijan kohdalla. Suomalaisilla opiskelijoilla on pitkälti samoja virhekäsityksiä kuin kansainvälisesti tehdyssä tutkimuksessa on havaittu. Fotosynteesin oppimisen kannalta keskeisin tutkimuksessa havaittu ymmärryksen puute on vaikeus ymmärtää fotosynteesin merkitys Auringon valoenergian ja ravintoketjujen energian välisenä linkkinä. Opiskelijoiden vaikeudet korjata virhekäsityksiään selittyvät käsitteellisen muutoksen prosessin haastavuudella ja hitaudella. Fotosynteesiä koskevan oppimisen edistämiseksi opetuksessa tulisi aiempaa paremmin huomioida käsitteellisen muutoksen haasteet kognitiivisesta, sosiaalisesta ja motivaatioon liittyvistä näkökulmista. Tämä tutkimus tarjoaa tietoa niistä fotosynteesin oppimista koskevista erityispiirteistä, joita ilmiön tehokkaaseen oppimiseen pyrkivän opetuksen tulee huomioida.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords biologian opetus, fotosynteesi, käsitteellinen muutos, oppiminen, virhekäsitykset, yliopisto-opiskelijat			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors FT, dosentti Viivi Virtanen			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Viikin tiedekirjasto			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

# SISÄLLYS

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 TUTKIMUKSEN TEOREETTINEN TAUSTA OPPIMISESTA</b> .....	<b>3</b>
2.1 OPPIMISEN TUTKIMUKSEN HISTORIAA .....	4
2.2 KÄSITTEELLINEN MUUTOS OPPIMISEN TEORIANA .....	7
2.3 KÄSITTEELLINEN MUUTOS SOSIAALISESSA VIITEKEHYKSESSÄ JA TAVOITTEELLISUUDEN MERKITYS.....	16
2.4 OPPIJOIDEN KÄSITTEELLISTEN MUUTOSTEN TUKEMINEN OPETUKSESSA.....	20
2.5 TIEDON JA AJATTELUTAIDOJEN TASOT VIRHEKÄSITYSTEN TARKASTELUN TUkena.....	24
2.6 OPETUSTEKSTIN RAKENNE KÄSITTEELLISEN MUUTOKSEN APUNA .....	25
<b>3 FOTOSYNTESISIN OPPIMINEN JA OPETTAMINEN</b> .....	<b>28</b>
3.1 BIOLOGIAN OPETUKSEN TAVOITTEET, MENETELMÄT JA FOTOSYNTESISIN OPETTAMINEN.....	29
3.2 FOTOSYNTESISIN OPPIMISEN VAIKEUS .....	31
<b>4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET</b> .....	<b>34</b>
<b>5 AINEISTO JA MENETELMÄT</b> .....	<b>35</b>
5.1 OSALLISTUJAT .....	35
5.2 AINEISTON KERUU .....	36
5.3 ANALYYSI .....	38
<b>6 TULOKSET</b> .....	<b>41</b>
6.1 OPISKELIJOILLA HAVAITUT VIRHEKÄSITYKSET .....	42
6.2 VIRHEKÄSITYSTEN MUUTTUMINEN OPETUSTEKSTIN LUKEMISEN JÄLKEEN .....	49
6.2.1 Jälkimittaus – virhekäsitysten väheneminen.....	49
6.2.2 Viivästetty jälkimittaus – virhekäsitysten säilyminen ja uusiutuminen.....	55
6.2.3 Törmäyttävän ja selittävän opetustekstin vaikutus sivuaineopiskelijoiden virhekäsitysten muuttumiseen .....	58
6.3 PÄÄAINEOPISKELIJOIDEN JA SIVUAINEOPIKELIJOIDEN VERTAILU VIRHEKÄSITYSTEN SUHTEEN.....	59
6.4 TIEDON JA AJATTELUTAIDOJEN TASOT VIRHEKÄSITYSLUOKISSA.....	60
<b>7 TULOSTEN TARKASTELU</b> .....	<b>62</b>
7.1 FOTOSYNTESISIN LIITTYVÄT VIRHEKÄSITYKSET .....	62
7.2 VIRHEKÄSITYSTEN KORJAANTUMINEN OPETUSTEKSTIN LUKEMISEN SEURAUKSENA.....	67
7.3 VIRHEKÄSITYSTEN SÄILYMISTÄ SELITTÄVÄT TEKIJÄT .....	70
<b>8 TULOSTEN LUOTETTAVUUS JA YLEISTETTÄVYYS</b> .....	<b>73</b>
8.1 VALIDITEETTI .....	73
8.2 RELIABILITEETTI .....	76
<b>9 JOHTOPÄÄTÖKSET</b> .....	<b>78</b>
<b>KIRJALLISUUS</b> .....	<b>83</b>
<b>LIITTEET</b> .....	<b>90</b>

# 1 Johdanto

Jo viime vuosisadan alkupuolelta asti tiedon kasvamista ja oppimisen prosessia on tarkasteltu käsitteiden ja käsitteellisen tiedon kehittymisenä (Sfard 1998). Sfardin mukaan käsitteet ovat ”tiedon perusyksiköitä, joita voi kartuttaa, muokata paremmiksi ja yhdistellä yhä rikkaammiksi kognitiivisiksi rakenteiksi”. Varsinaiset käsitteellisen muutoksen ensimmäiset teoriat muodostuivat 1980-luvulla, ja ne ovat siitä asti hallinneet tiedonalakohtaisen oppimisen tutkimuksen kenttää (Posner ym. 1982; Vosniadou ym. 2008; DiSessa 2008; Chi 2008). Käsitteellisellä muutoksella tarkoitetaan oppijan olemassa olevan käsitteellisen tiedon järjestymistä ja muuttumista kohti tieteellisiä käsitteitä ja käsiterakenteita (Vosniadou 2007). Käsitteellisen muutos on osoittautunut monimutkaiseksi prosessiksi, ja sen tutkimus on tuottanut viime vuosikymmeninä useita erilaisia näkökulmia oppimiseen ja opetukseen.

Erityisesti luonnontieteellisten ja matemaattisten ilmiöiden ja käsitteiden oppimiseen on havaittu liittyvän erityisiä vaikeuksia, joiden selittämiseen yleiset oppimisen teoriat, kuten Piaget'n (1970) tai Ausubelin (1968) kognitiiviset oppimisteoriat, ovat yksinään riittämättömiä (Vosniadou ym. 2008). Nykyisen käsityksen mukaan näiden oppimisen vaikeuksien ja oppimisessa helposti muodostuvien virhekäsitysten taustalla on oppijan aiemman aiheeseen liittyvän tiedon vaikutus (esim. Carey & Spelke 1995; Vosniadou 2007; DiSessa 2008; Chi 2008). Monissa tapauksissa käsitteiden ja ilmiöiden oppiminen vaatii käsitteellistä muutosta, jossa aiempi puutteellinen tieto muuttuu tieteellisen mallin mukaiseksi tiedoksi usein pitkäkestoisen prosessin seurauksena (Vosniadou 2007). Vaikka käsitteellisestä muutoksesta on esitetty useita toisistaan enemmän tai vähemmän eroavia teorioita, niillä on monia yhteisiä näkemyksiä keinoista, joilla oppijoiden käsitteellistä muutosta voidaan tukea (DiSessa 2008). Käsitteellisen muutoksen haasteiden tiedostamisen ja huomioimisen tulisi olla keskeisessä asemassa, kun halutaan edesauttaa käsitteellisen tiedon oppimista ja kehittää luonnontieteiden opetusta (Duit ym. 2008).

Käsitteellisen muutoksen teorioiden mukaan eräs tärkeimmistä onnistuneen opetuksen edellytyksistä on oppijoiden aiemman tiedon ja erityisesti virhekäsitysten selvittäminen (Vosniadou ym. 2008; DiSessa 2008). Virhekäsityksiä tunnistamalla ja tiedostamalla voidaan oppijoita ohjata aktiivisesti korjaamaan niitä ja muokkaamaan aiempaa tietoaan. Vosniadoun ym. (2008) mukaan käsitteellisen muutoksen tutkimuksessa on

keskityttävä entistä enemmän selvittämään virhekäsitysten korjaantumiseen ja muuttumiseen liittyviä prosesseja ja yksityiskohtia. Kun ymmärretään, miten ja miksi virhekäsitykset vähenevät opetuksen seurauksena, opetusta voidaan kehittää oppijan käsitteellisen muutoksen paremmin huomioivaksi.

Tässä tutkimuksessa tutkitaan suomalaisten yliopisto-opiskelijoiden fotosynteesiin liittyvän käsitteellisen tiedon puutteita ja virhekäsityksiä biologian pää- ja sivuaineopiskelijoilla. Fotosynteesi on useimmissa kasveissa sekä joissakin levissä ja bakteereissa tapahtuva reaktio, jossa ilmakehän kaasumaisesta hiilidioksidista sekä vedestä muodostuu Auringon valoenergian vaikutuksesta sokeria ja happea. Lähes kaikki eliöt käyttävät fotosynteesissä muodostuvaa kemiallista energiaa suoraan tai välillisesti energianlähteenään. Suomalaisen peruskoulun käyneiden opiskelijoiden tulisi osata ”selostaa fotosynteesin ja kuvata sen merkityksen eliökunnan kannalta” (POPS 2004, s. 181). Aiempi tutkimus on tuonut esiin lukuisia fotosynteesiin, kasvien ravinnon saantiin ja energian virtaukseen liittyviä virhekäsityksiä niin kouluikäisillä oppilailta (mm. Marmaroti & Galanopoulou 2007; Barman ym. 2006; Russell ym. 2004) kuin yliopisto-opiskelijoillakin (Ross ym. 2005; Boyes & Stanisstreet 1991). Suomessa asiaa on kuitenkin tutkittu vähän (ks. Mikkilä-Erdmann 2001). Södervikin ym. (2015) tutkimus osoitti, että suomalaisilla yliopisto-opiskelijoilla on fotosynteesiin liittyviä virhekäsityksiä, opiskelijoiden tiedoissa on suuria eroja ja että opetustekstin avulla voidaan parantaa erityisesti alkutiedoiltaan heikompien opiskelijoiden osaamista.

Jotta fotosynteesin oppimisen vaikeus voidaan ymmärtää, on virhekäsitysten tiedostamisen lisäksi tunnettava niiden korjaantumiseen liittyviä oppimisen prosesseja. Käsitteellisen muutoksen mallien avulla voidaan mielekkäästi tarkastella oppimista ja virhekäsitysten korjaantumista yksittäisenkin ilmiön kannalta ja hahmottaa keinoja opetuksen tehostamiseksi. Opetustekstit ovat luonnontieteiden opetuksessa paljon käytetty keino vaikuttaa oppimiseen ja oppijoiden virhekäsityksiin. Opetustekstien, joissa erikseen osoitetaan ja korjataan tyypillisiä virhekäsityksiä, on havaittu johtavan tavallisia selittäviä oppikirjatekstejä parempiin oppimistuloksiin (mm. Braasch ym. 2013; Broughton ym. 2010; Mikkilä-Erdmann ym. 2001). Tällaiset niin kutsutut törmäyttävät tekstit (*refutational text*) ottavat huomioon käsitteellisen muutoksen edellytykset ja aktivoivat oppijaa korjaamaan virheellisiä käsityksiään (Van den Brook & Kendeou 2008; Hynd 2003).

Aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että fotosynteesiä koskevat virhekäsitykset liittyvät sekä yksityiskohtaiseen faktatietoon että laajempaa soveltamista vaativaan tietoon (Marmaroti & Galanopoulou 2007; Barman ym. 2006; Mikkilä-Erdmann ym. 2001). Käsitteellisen muutoksen kannalta haastavimmat virhekäsitykset liittyvät usein laajoihin ja useita virhekäsityksiä sisältäviin tietorakenteisiin (Vosniadou ym. 2008; Chi 2008). Myös opetusteksteillä on havaittu erilaisia vaikutuksia muistamiseen ja soveltamiseen liittyvien virhekäsitysten korjaantumisen välillä (Mikkilä-Erdmann 2001). Näistä syistä virhekäsitysten erottelu eri tyyppisen tiedon tai ajattelun suhteen on tärkeää tarkasteltaessa niitä käsitteellisen muutoksen kannalta. Yksi tiedon tasojen luokittelu on jo kauan käytössä ollut Bloomin taksonomia, jota Andersson ja Krathwohl (2001) ovat päivittäneet eritellen sekä tiedon että ajattelutaitojen tasoja.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on ymmärtää biologian yliopisto-opiskelijoiden erilaisia fotosynteesiin liittyviä virhekäsityksiä sekä niiden korjaantumista tai säilymistä käsitteellisen muutoksen näkökulmasta. Tutkimuksessa pyritään tuottamaan tietoa, joka auttaa fotosynteesiin liittyvän biologian opetuksen ja oppimisen kehittämisessä erityisesti suomalaisen opetuksen ja opetussuunnitelmien kontekstissa.

Tutkimuksessa selvitetään, minkälaisia virheellisiä käsityksiä yliopisto-opiskelijoilla on fotosynteesistä. Lisäksi tutkitaan, miten virheelliset käsitykset muuttuvat opetustekstin lukemisen jälkeen, ja millainen vaikutus erilaisilla opetusteksteillä on virhekäsitysten muuttumiseen (ks. Broughton ym. 2010; Mikkilä-Erdmann 2001). Virhekäsityksiä ja niiden muuttumista myös vertaillaan biologian pääaineopiskelijoiden ja sivuaineopiskelijoiden välillä.

## **2 Tutkimuksen teoreettinen tausta oppimisesta**

Viime vuosikymmeninä tiedonalakohtaista oppimista on tutkittu paljon käsitteellisen muutoksen näkökulmasta (esim. Posner ym. 1982; Carey & Spelke 1995; Vosniadou 2007; DiSessa 2008; Chi 2008). Käsitteellisellä muutoksella tarkoitetaan oppijan olemassa olevan käsitteellisen tiedon järjestymistä ja muuttumista kohti tieteellisiä käsitteitä ja käsiterakenteita (Vosniadou 2007). Käsitteellisen muutoksen teorit pohjautuvat konstruktivistiselle oppimiskäsitykselle, joka korostaa tiedon rakentumista aiemman tiedon varaan ja oppijan aktiivista roolia tietorakenteiden luojana (Uusikylä &

Atjonen 2005, s. 12). Käsitteellisen muutos on osoittautunut monimutkaiseksi prosessiksi, ja sen tutkimus on tuottanut viime vuosikymmeninä useita erilaisia näkökulmia oppimiseen ja opetukseen. Monipuolinen käsitteellisen muutoksen prosessien ymmärtäminen on tärkeää, kun halutaan edistää erityisesti vaikeiksi havaittujen asioiden oppimista (Duit ym. 2008; Vosniadou ym. 2008). Jotta käsitteellistä muutosta voitaisiin ymmärtää oppimisen ja opetuksen kehittämisen näkökulmasta, on otettava huomioon monipuolisesti sekä oppimisen yksilöllinen että sosiaalinen ulottuvuus (Duit 2008; Vosniadou 2007b).

Oppijalle vaativimmat käsitteelliset muutokset kohdistuvat tavallisesti laajoihin käsiterakennelmiin ja useisiin virhekäsityksiin, ja ne edellyttävät aktiivista tiedon prosessointia, kyseenalaistamista ja muokkaamista (Vosniadou 2008, Chi 2008). Erilaisen tiedon luokittelussa hyödynnetään tässä tutkimuksessa Krathwohlin (2002) esittelemää luokittelua, joka erottelee sekä tiedon että ajattelutaitojen tasoja.

Seuraavaksi käsitellään käsitteellisen muutoksen teorioihin johtanutta oppimisen tutkimusta sekä esitellään erilaisia teorioita käsitteellisen muutoksen prosessista. Oppimisen sosiaalista ja oppijan motivaation liittyvää näkökulmaa tarkastellaan lyhyesti käsitteelliseen muutokseen liittyen. Sen jälkeen esitellään käsitteellisen muutoksen haasteet huomioivan opetuksen piirteitä sekä Krathwohlin (2002) kuvaamia tiedon ja ajattelutaitojen tasoja virhekäsitysten tarkastelun tukena. Lopuksi esitellään opetustekstin mahdollisuuksia käsitteellisen muutoksen ja oppimisen tukemisessa.

## 2.1 Oppimisen tutkimuksen historiaa

1900-luvulla psykologian alalla muodostui lukuisia oppimista koskevia teorioita. Jean Piaget (1896–1980) oli viime vuosisadan tunnetuimpia lasten oppimista kognitiivisesta näkökulmasta tarkastelleista psykologeista. Piaget (1970) tarkasteli oppimista ilmiönä, jossa ympäristön tieto muuttuu kehityksen myötä ihmisen sisäiseksi kognitiiviseksi toimintamalleiksi, skeemoiksi. Skeemojen muodostumisessa on keskeistä oppijan toiminnan mukautuminen ympäristön vaatimusten mukaiseksi sekä uusien tietojen ja taitojen sulauttaminen jo olemassa oleviin. Piaget näki ihmisen kehityksen biologisena prosessina, johon kuuluu erilaisia kognitiivisia vaiheita. Keskeistä oppimisessa oli Piaget'n mukaan se, että eri vaiheille ovat tyypillisiä erilaiset ajattelun ja loogisen päättelyn taidot ja siten erilainen tapa mukautua ympäristöön ja oppia siitä. Siksi myös

eri kognitiivisten vaiheiden aikana muodostuvat kognitiiviset mallit eroavat suuresti toisistaan. Lapsen siirtyminen vaiheesta toiseen tapahtuu luonnollisesti hänen vanhetessaan. Esimerkiksi tieteelliseltä ajattelulta vaadittava abstrakti päättelykyky kehittyy Piaget'n mukaan riittäväksi vasta nuoruusvaiheessa (Mintzes & Wandersee 1998).

David Ausubel (1918–2008) kehitti Piaget'n ajatusten pohjalta oman kognitiivisen oppimisteoriansa. Ausubel korosti entisestään oppijan aiemman tiedon merkitystä. Uusi tieto voi yhdistyä vain ennestään oppijan tietorakenteessa oleviin käsitteisiin, ja tämä on otettava huomioon opetuksessa (Ausubel 1968, s. 127–133; Uusikylä & Atjonen 2005, s. 144). Lisäksi uuden tiedon pitää olla oppijalle potentiaalisesti tarpeellista, jotta oppiminen on mielekästä ja vapaaehtoista. Jos edellä mainitut ehdot eivät toteudu, oppiminen on Ausubelin (1968, s. 37–38) mukaan mekaanista ulkoa oppimista. Varhaisista kognitiivisista oppimisteorioista kehittynyt konstruktivistinen oppimiskäsitys korostaa tiedon rakentumista aiemman tiedon varaan ja oppijan aktiivista roolia tietorakenteiden luojana (Uusikylä & Atjonen 2005, s. 12).

Edellä mainitut kognitiiviset oppimisteoriat korostavat yksilön merkitystä tiedon omaksujana ja jäsentäjänä (Uusikylä & Atjonen 2005, s. 143). Kuitenkin myös sosiaalisen vuorovaikutuksen ja ympäristön merkitys oppimisessa on ollut pitkään mielenkiinnon kohteena. Oppimisen sosiokulttuurallisen näkökulman uranuurtaja oli psykologi Lev Vygotsky (1896–1934). Wertsch (1991, s. 18–45) käsitteli Vygotskyn teoriaa ja totesi, että Vygotskyn mukaan nimenomaan sosiaalinen vuorovaikutus johtaa korkeimpiin älyllisiin toimintoihin, ja oppiminen tapahtuu siksi ensisijaisesti ihmisten välisessä vuorovaikutuksessa. Yksilö voi sisäistää tiedon silloin, kun se on muodostunut yksilöiden välisen vuorovaikutuksen tuloksena. Vygotsky korosti erityisesti puhuttua kieltä ja sen avulla muodostettuja merkityksiä vuorovaikutuksellisen oppimisen välineenä (Jones & Carter 1998). Edellä mainittujen seikkojen perusteella Vygotsky kehitti oppimista selittävän mallin, jonka mukaan yksilön oppiminen tapahtuu *lähikehityksen vyöhykkeellä*. Tämä tarkoittaa, että opittavat asiat ovat sellaisia ongelmia, joita oppija voi ratkaista ainoastaan ulkoisen tuen avulla (Hakkarainen ym. 2004, s. 131). Tuki voi olla ohjaavan aikuisen tai asian jo osaavan vertaisoppijan tarjoamaa tukea. Jones ja Carter (1998) korostavat Vygotskyn teorian mukaisesti, että oppijoilla on oltava yhteisiä kielellisiä työkaluja, esimerkiksi ilmiön oppimiseksi vaadittavien käsitteiden ymmärrys, jotta tiedon rakentaminen ja oppiminen vuorovaikutuksessa on mahdollista. Kun sosiaalisen vuorovaikutuksen merkitys oppimiselle ja



tiedonrakentamiselle otetaan huomioon, puhutaan konstruktivistisen oppimiskäsityksen ohella myös kontekstuaalisesta oppimiskäsityksestä (Jeronen 2005).

Kaikki edellä mainitut oppimisteoriat tarkastelevat oppimista yleisenä ilmiönä – kognitiivisena tai sosiaalisena – kiinnittämättä erityisesti huomiota oppimisen kohteena olevaan aihealueeseen. Oppimisen yleisten rakenteiden ja strategioiden tarkastelu on osoittautunut kuitenkin riittämättömäksi selittämään oppilaiden vaikeuksia oppia tieteellisiä ilmiöitä (White & Gunstone 2008; Vosniadou 2008). 1970-luvulta alkaen osa oppimisen tutkimuksesta alkoi suuntautua voimakkaasti tieteenalakohtaiseen ja rajattuun aihealueeseen liittyvään oppimiseen sekä siinä esiintyvien vaikeuksien tutkimiseen (ks. White & Gunstone 2008). Viime vuosikymmeninä oppimisen tutkimuksen keskiössä ollut käsitteellisen muutoksen teoria sai alkunsa 1960-luvulla virinneistä uusista tieteenfilosofisista ajatuksista.

Ennen 1960-lukua tieteenfilosofiassa oli ollut pitkään vallalla looginen positivismi. Päämääränään vastustaa metafysiikan ulottumista tieteen alueelle loogiset positivistit pyrkivät kuvaamaan tieteelliset käsitteiden muodostamat rakenteet matemaattisen logiikan kielellä (Arabatzis & Kindi 2008). Loogisen positivismin mukaan tieteen rakenne noudatti voimakasta reduktionismia, eli kaikki käsitteet oli loogisesti johdettavista alemman tason käsitteistä. Keskittymällä rakenteiden määrittelemiseen loogiset positivistit halusivat luoda yhtenäisen ristiriidattoman tieteen, jossa ei ole sijaa metafyyksille kysymyksille.

Loogisen positivismin mukaan uusi tieto voi oikaista ja korvata vanhoja teorioita, mutta vain vanhojen loogisten käsiterakenteiden puitteissa (Arabatzis & Kindi 2008). 1960-luvulla Thomas Kuhn ja eräät muut tieteenfilosofit päätyivät teoriaan, joka pian rikkoi loogisen positivismin perinteen. Arabatzis ja Kindi (2008) mainitsevat, että Kuhnin mukaan tiede toimii kunakin aikana tiettyjen kyseenalaistamattomien olettamusten ja käytänteiden varassa. Näistä käytänteistä ja teorioista muodostuu tieteenalaa määrittävä paradigma. Kuitenkin ajan kuluessa tehdään uusia havaintoja, joita ei voi selittää aiempien olettamusten avulla, mikä johtaa entisten olettamusten ja rakenteiden kyseenalaistumiseen. Kun näitä havaintoja kertyy tarpeeksi, joudutaan tieteenalaa aiemmin määrittäneitä olettamuksia hylkäämään radikaalisti. Kuhnin teorian mukaan tämä johtaa paradigman muuttumiseen, koska uuden paradigman mukaisia teorioita ja käsitteitä ei voida yhdistää tai verrata vanhaan paradigmaan (Vosniadou 2008). Tieteessä tai tieteenalassa tapahtuu tällöin merkittävä vanhojen tietorakenteiden

hylkääminen tai uudelleenjärjestäminen; käsitteiden merkitys muuttuu vastaamaan uutta paradigmaa. Kuhnin mukaan tiede kehittyy tällaisten radikaalien käsitteellisten muutosten kautta sen sijaan, että muutos olisi vähittäistä ja aina vanhoihin rakenteisiin perustuvaa.

Kuhnin teoriolla oli tieteenfilosofian lisäksi hieman myöhemmin vaikutus myös oppimispsykologiaan ja tieteen oppimisen tutkimukseen (Vosniadou 2008). Käsitteellisen paradigman muuttumisesta ja käsitteellisestä muutoksesta antoi sopivan teoreettisen pohjan ymmärtää tieteellisten mallien oppimiseen liittyviä vaikeuksia. 1970- ja 1980-lukujen taitteessa useat tutkijat havaitsivat, että vaikeus oppia tieteellisiä ilmiöitä selittyy pitkälti oppilaiden voimakkaalla taipumuksella pitäytyä omaksumissaan epätieteellisissä selitysmalleissa ja virhekäsityksissä (Posner ym. 1982). Jotta oikea tieteellinen käsitys voitaisiin oppia, olisi koko aiempi virheellinen selitysmallien järjestelmä hylättävä ja korvattava tieteellisillä teorioilla. Tämän käsitteellisen muutoksen nähtiin vastaavan Kuhnin esittämää tieteellisen paradigman muutosta; oppijan oppiminen vaatii luopumista vääristä selitysmalleista aivan kuten tieteen kehittyminen vaatii ajoittaisia teoreettisen perustan korjauksia (Vosniadou 2007). 1980-luvulta alkaen oppimisen tutkimus on ollut pitkälti käsitteellisen muutoksen teorioihin perustuvaa tiedonalakohtaista tutkimusta (Hakkarainen ym. 2005, s. 85). Viime vuosikymmeninä kognitiivista yksilölähtöistä lähestymistapaa ovat yhä enemmän haastaneet ja laajentaneet tiedonhankinnan ja oppimisen sosiaaliseen kontekstiin sekä oppijan motivaatioon keskittyvät näkökulmat (mm. Halldén ym. 2008; Sinatra & Mason 2008). Sosiaalista kontekstia merkitystä ei voida sivuuttaa oppimisen ja opettamisen kehittämiseen pyrittäessä. Tässä tutkimuksessa keskitytään kuitenkin ensisijaisesti yksilöllistä käsitteellistä ajattelua tarkasteleviin käsitteellisen muutoksen teorioihin.

## 2.2 Käsitteellinen muutos oppimisen teoriana

Nykyään tunnetaan runsaasti todisteita siitä, että lapsen kognitiiviseen kehitykseen kuuluu tiedonalakohtaisia käsitteellisiä muutoksia (Vosniadou 2008). Esimerkiksi 10-vuotiaiden biologinen ymmärrys poikkeaa laadullisesti 4–6-vuotiaiden ymmärryksestä (Hatano & Inagaki 1998). Vastaavanlaisia eroja eri-ikäisten ymmärryksessä ja selitysmalleissa on havaittu liittyvän myös muihin käsitteisiin, kuten voimaan (Ioannides & Vosniadou 2002), maan muotoon (Vosniadou & Brewer 1992) ja numeron käsitteeseen (Smith ym. 2005). Havaittujen käsitteellisten muutosten mekanismeista ei

ole yksimielistä näkemystä, vaan tutkijoiden näkemykset ja painotukset ovat joiltain osin erilaisia (Vosniadou ym. 2008; Chi 2008; DiSessa 2008). On kuitenkin tärkeää pyrkiä ymmärtämään käsitteellisen muutoksen mekanismeihin liittyviä monimutkaisiakin piirteitä, jotta opetuksessa voitaisiin tukea toivottujen käsitteellisten muutosten tapahtumista. Tässä luvussa esitellään neljä teoreettista näkemystä käsitteellisen muutoksen prosessista ja mekanismista: 1) klassinen käsitteellisen muutoksen malli (Posner ym. 1982), 2) käsitteellinen muutos kehysteorioiden muokkautumisena (Vosniadou ym. 2008), 3) käsitteellinen muutos ristiriitojen korjaantumisenä kolmella tasolla (Chi 2008) ja 4) käsitteellinen muutos esikäsitteellisen tiedon järjestyksenä (DiSessa 2008).

### *1) Klassinen käsitteellisen muutoksen malli*

Varhaisimman oppimiseen liittyvän käsitteellisen muutoksen teorian loi Posner kumppaneineen (1982). He yhdistivät Kuhnin ajatukset käsitteellisestä muutoksesta Piaget'n oppimisteorian mukaiseen sopeutumiseen ja mukautumiseen. Posnerin ym. (1982) teoria, kuten koko varhainen käsitteellisen muutoksen tutkimuskin, kohdistui ensisijaisesti luonnontieteiden oppimiseen. Teorian mukaan käsitteellinen muutos oppimisessa voi tapahtua, jos seuraavat ehdot toteutuvat: 1) oppijan on oltava tyytymätön vallitseviin käsitteisiin, 2) on oltava olemassa uusi ymmärrettävä käsite, 3) uuden käsitteen on vaikutettava uskottavalta ja 4) uuden käsitteen on oltava potentiaalisesti laajennettavissa uusille alueille. Tässä teoriassa oppija rinnastetaan tiedemieheen, joka on valmis muuttamaan nopeasti käsiterakenteitaan kohdatessaan vanhoihin käsityksiinsä liittyviä konflikteja. Teoriasta tuli vuosiksi luonnontieteiden oppimisen tutkimusta määrittävä malli (Vosniadou 2008).

Nykyiset käsitykset käsitteellisestä muutoksesta eroavat monin tavoin Posnerin ym. (1982) niin kutsutusta klassisesta mallista, jonka mukaan virhekäsityksen hylkääminen ja korvaaminen tieteellisillä käsityksellä on luonnollisena tapahtumana edellä mainittujen ehtojen toteutuessa. Sekä Smith ym. (1993), Vosniadou (2008), Chi (2008) että DiSessa (2008) katsovat, että virhekäsityksien korjaantuminen ei ole lainkaan niin yksinkertainen tapahtuma, kuin Posner ym. (1982) olettivat. Virhekäsityksiä ja niiden korjaantumista on tarkasteltava osana oppijoiden koko tietämystä ja tietorakenteita. Oppijoilla on valmiiksi myös sellaista tietoa, jota tarvitaan kehittyneempien teorioiden luomiseen, eivätkä kaikki virhekäsitykset ole välttämättä niin vaikeasti muutettavissa

kuin klassisessa mallissa oletettiin (DiSessa 2008). Toisaalta käsitteelliset muutokset eivät yleensä tapahdu nopeasti, vaan kyseessä on pitkään kestävä vähittäinen prosessi (Vosniadou 2007).

## *2) Käsitteellinen muutos kehysteorioiden muokkautumisena*

Vosniadou ym. (2008) ovat tutkineet lasten fysiikkaan ja astronomiaan liittyviä käsityksiä, muun muassa käsitystä maapallon muodosta ja asemasta aurinkoon nähden. Heidän mukaansa oppijat yhdistävät uudet käsitteet niihin sopiviin valmiisiin tietorakenteisiin, joita he kutsuvat kehysteorioiksi (framework theory). Lapsi muodostaa jo varhain ympäristönsä perusteella suhteellisen johdonmukaisia teorioita eri osa-alueista (Gelman 1990). Ainakin fysiikkaan, matematiikkaan, kieleen ja psykologiaan liittyviä teoriarakenteita on havaittu ja eroteltu (Vosniadou ym. 2008). Kun oppija kohtaa uutta tietoa, hän pyrkii liittämään sen aiempiin rakenteisiinsa, mitä jo Ausubel 1960-luvulla painotti. Vosniadoun ym. (2008) näkemyksen mukaiset oppijoiden kehysteoriat eroavat tiedemiesten teorioista siten, että niitä ei ilmaista kielellisesti yhtä selkeästi, niistä ei olla yhtä tietoisia, ne ovat vähemmän yhtenäisiä eivätkä kata käsittelemäänsä ilmiöitä yhtä laajasti. Vosniadoun ym. (2008) mukaan luonnontieteiden ja matematiikan oppiminen on hidaskäyttöinen prosessi, jossa uuden tiedon sovittaminen aiempiin kehysteorioihin johtaa usein sisäisiin ristiriitoihin, vaikeuksiin kokonaisuuksien hahmottamisessa ja väärinkäsityksiin. Tällöin oppijat muodostavat synteettisiä, virhekäsityksiä sisältäviä, malleja, joissa on piirteitä sekä tieteellisestä mallista että aiemmista tieteellisesti puutteellisista malleista.

Vosniadoun ym. (2008) mukaan tiedonalakohtaisiin malleihin ja käsitteisiin (esimerkiksi yhteyttäminen, maapallon muoto) kohdistuvat käsitteelliset muutokset tapahtuvat joko spontaanisti tai ne ovat harkitun ohjauksen (opettamisen) seurausta. Spontaaneille muutoksille on tyypillistä, että oppija lisää ympäristöstä omaksumaansa tietoa aiempaan tietoonsa. Vosniadou ym. näkevät sekä Piaget'n että Vygotskyn teorioiden soveltuvan spontaanien käsitteellisten muutosten tarkasteluun. Spontaanisti tapahtuva oppiminen on useimmiten aiemman tiedon kartuttamista tietyssä ympäristössä saatujen kokemusten perusteella (vrt. Piaget'n mukautuminen ja Vygotskyn sosiaalisessa vuorovaikutuksessa oppiminen). Lukuisat havainnot osoittavat, että myös pelkkä ilmiöitä koskevan tiedon karttuminen johtaa sopivissa olosuhteissa käsitteellisiin muutoksiin (Vosniadou ym. 2008). Vosniadoun ym. mukaan tämä on

mahdollista, koska oppijalla on ennalta aiheesta teorian kaltainen malli ja uusi tieto vastaanotetaan kulttuurisessa ympäristössä, jossa kyseinen aihe yleisesti ymmärretään. Käsitteellisissä muutoksissa, joissa uutta tietoa liitetään olemassa olevaan, on kuitenkin vaarana, että syntyy virhekäsityksiä sisältäviä synteettisiä malleja (Vosniadou ym. 2008). Näin tapahtuu, kun oppijan aiemman teorian, jota hän pitää oikeana, ja uuden tiedon, joka myös vaikuttaa oikealta, välinen ristiriita johtaa satunnaisiin lisäyksiin ja poistoihin alkuperäisen mallin suhteen. Spontaanit käsitteelliset muutokset tapahtuvat pääosin tiedostamatta, eikä kehittyvien synteettisten mallien virheellisyyksiäkään tiedosteta (Vosniadou 2007).

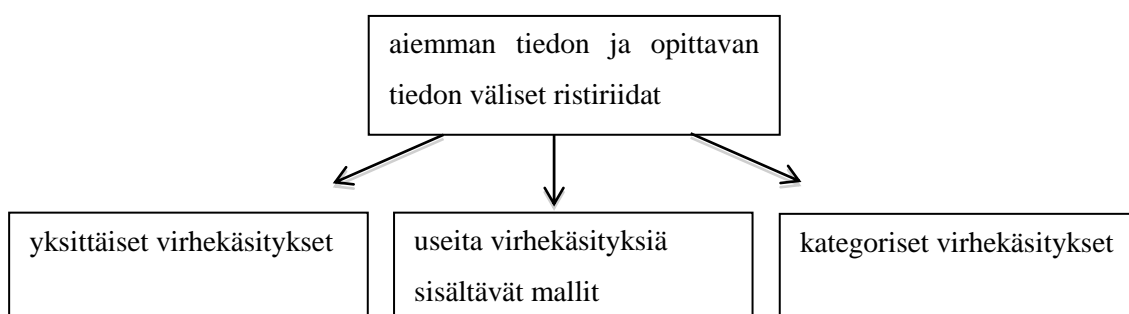
Ohjauksen seurauksena tapahtuvat käsitteelliset muutokset ovat sellaisia, jotka eivät yleensä tapahtuisi spontaanisti, vaan ne vaativat järjestelmällistä apua esimerkiksi opettajalta. Myös ohjatussa oppimisessa tapahtuvat käsitteelliset muutokset voivat johtaa epätieteellisten synteettisten mallien muodostumiseen, mutta ohjauksessa käsitteelliseen muutokseen johtaviin mekanismeihin voidaan tietoisesti vaikuttaa ja synteettisten mallien muodostumista ehkäistä (Vosniadou 2007). Tieteellisen tiedon oppimisessa on keskeistä välttää virhekäsitysten muodostumista, joten opetuksen merkitys korostuu.

Vosniadou (2007) korostaa oppijan aktiivista roolia tiedon käsittelyssä. Hänen mukaansa kaksi ehtoa ehkäisee toteutuessaan virhekäsitysten muodostumista käsitteellisessä muutoksessa: Oppijan on tiedostettava aiemman teoriansa ja tieteellisen teorian väliset ristiriidat, ja hänen on tietoisesti pyrittävä korjaamaan ristiriitoja. Pelkän uuden tiedon lisäämisen sijaan oppija käyttää tällöin kehittyneempiä oppimismenetelmiä käsitellessään ristiriitoja tietoisesti, ja synteettisten mallien muodostumisen riski pienenee. Vaikka aiemman ja uuden tiedon välillä ei välttämättä olisikaan suurta ristiriitaa, oppijan aktiivinen rooli on silti tärkeä. Careyn ja Spelken (1994) mukaan käsitteellisessä muutoksessa oppija tietoisesti yhdistää aiemmin toisiinsa liittymättömiä asioita (esimerkiksi elottomina pitämiensä kasvien kastelun ja elollisten olioiden vedentarpeen), mikä johtaa aiempien käsitysten merkittävään muuttumiseen. Ohjauksessa oppijaa voidaan esimerkiksi kannustaa aktiivisesti yhdistämään ensisilmäykseltä etäisiä käsitteitä toisiinsa ja luomaan näin uusia ajatusmalleja ilmiöistä (Vosniadou ym. 2008).

### 3) Käsitteellinen muutos ristiriitojen korjaantumisena kolmella tasolla

Chi (2008) korostaa käsitteellisen muutoksen prosessissa aiemman tiedon ja aiempien mallien muuttumista uusiksi. Chin mukaan oppimiseen ei liity käsitteellistä muutosta, jos aiemman tiedon ja opittavan tiedon välillä ei ole ristiriitaa. Esimerkiksi nimistön oppiminen tai arkielämästä tai aiemmasta opetuksesta tuntemattomiin ilmiöihin liittyvien asioiden oppiminen ei vaadi käsitteellistä muutosta, vaan oppiminen on tällöin uuden puuttuvan tiedon lisäämistä tai aiemman tiedon aukkojen täyttämistä. Sen sijaan käsitteellinen muutos tapahtuu, kun aiemmassa tiedossa havaitaan virhekäsityksiä ja sitä joudutaan muokkaamaan ja aiempia malleja muuttamaan uuden oikeampana pidettävän tiedon vaikutuksesta.

Chin (2008) mukaan virhekäsityksiin johtavia aiemman tiedon ja uuden tiedon ristiriitoja on syytä tarkastella kolmella eri tasolla. Yksinkertaisimmillaan ristiriidat koskevat yksittäisiä virhekäsityksiä. Seuraavalla tasolla useiden yksittäisten virhekäsitysten seurauksena muodostuu virheellisiä sisäisiä malleja. Tyypillisiä useita virhekäsityksiä sisältäviä malleja ovat esimerkiksi malli maapallon rakenteesta tai malli verenkiertojärjestelmän toiminnasta. Uuden ja aiemman tiedon ristiriitaisuuden kolmas taso muodostuu Chin mukaan kategorisia virhekäsityksiä. Kategorisessa virhekäsityksessä oppija liittää käsitteen tai ilmiön väärään kategoriaan, mikä estää käsitteen ymmärtämisen ja soveltamisen tieteellisellä tavalla. Esimerkkejä kategorisista virhekäsityksistä ovat lämmön käsittäminen materiaaliseksi aineeksi lämpöliikkeen sijaan (Chi 2008) tai kasvien pitäminen elottomina olentoina (Inagaki & Hatano 2003). On tärkeää selvittää, minkä tyyppisiä oppijan käsitteellistä muutosta edellyttävät ristiriidat ovat. Tällöin oppijoita voidaan ohjata käsittelemään niitä tehokkaammin, ja tieteellisen tiedon oppiminen onnistuu helpommin (Chi 2008).



Kuvio 3.1. Aiemman ja uuden tiedon ristiriitojen tasot Chin (2008) mukaan.

Yksittäiset ristiriidat saattavat Chin mukaan olla melko helposti oikaistavissa. Chi ja Roscoe (2002) tarkastelevat de Leeuwenin (1993) tuloksia oppilaiden käsityksistä verenkierrosta ja toteavat, että tavallinen opetusteksti riitti korjaamaan yli kaksi kolmasosaa yksittäisistä virhekäsityksistä. Tehokkaimmin korjaantuivat virhekäsitykset, jotka tekstissä varta vasten oikaistiin pelkän oikean tiedon kertomisen lisäksi. Myös Mikkilä-Erdmannin (2002) fotosynteesiä koskevassa tutkimuksessa saatiin samansuuntaisia tuloksia. Useita virhekäsityksiä sisältävien mallien korjaantuminen ei sen sijaan ole yleensä yksinkertaista (Chi 2008). Sisäiset mallit, esimerkiksi yhteyttämisestä, voivat olla johdonmukaisia, teoriamaisia ja arkikokemuksien perusteella vahvistuneita (Chi 2008; Vosniadou ym. 2008). Vaikka yksittäinen virhekäsitys korjaantuisikin, esimerkiksi opetustekstin avulla, oppija pyrkii korjaamaan tiedon ensisijaisesti virheellisen mallinsa puitteissa.

Jotkut virhekäsitykset voivat toki yksinäänkin olla aiemman mallin toimivuuden kannalta kriittisiä, mutta yleensä koko mallin muuttuminen tieteellistä selitystä vastaavaksi vaatii usean virhekäsityksen oikaisemista (Chi 2008). Tutkittaessa oppilaiden malleja verenkierrosta (Chi ym. 2000) ja maapallon rakenteesta (Vosniadou & Brewer 1992), havaittiin, että noin 60 % opetustekstin lukeneista oppilaista korjasi aiemman huomattavasti virheellisen mallinsa vastaamaan tieteellistä mallia. Chin (2008) mukaan käsitteellinen muutos on tehokkaampaa, mikäli oppijat vertailevat virheellisiä ja tieteellisiä malleja kokonaisvaltaisesti, kuin että he tarkastelevat vain yksittäisiä virhekäsityksiä. Chi mainitsee tutkimuksen ja opetuksen kannalta yhtenä esimerkkinä kokonaisvaltaisemmasta vertailusta virheellistä ja tieteellistä malleja visualisoivat kaaviot.

Kolmannen tason ristiriidat aiemman tiedon ja tieteellisen tiedon välillä liittyvät käsitteiden ja ilmiöiden sijoittamiseen väärin ontologisiin kategorioihin (Chi 2008). Ontologialla Chi viittaa sellaiseen ilmiöiden tai käsitteiden joukkoon, jota yhteiset oletukset olemassaolon luonteesta ja perustasta määrittävät. Ontologiset kategoriat ovat ilmiöiden ja käsitteiden ryhmiä, jotka eroavat toisistaan niiden oletusten suhteen, joihin ilmiön tai käsitteen tieteellinen ymmärtäminen perustuu. Aiemmin mainitun esimerkin mukaisesti lämpö on ymmärrettävä prosessina, molekyylien liikkeenä, eikä olemassa olevana aineena tai objektina. Lämmön sijoittaminen väärään ontologiseen kategoriaan – aineeksi ja objektiksi – johtaa lukuisiin virhekäsityksiin ja vaikeuteen käsitellä lämpöön liittyviä teorioita ja ongelmia. Kategorisesta virheestä aiheutuvien uusien virhekäsitysten korjaaminen johtaa usein vain pinnallisiin muutoksiin oppijan

ajatusmalleissa todellisen ymmärtämisen sijaan. Tämän vuoksi käsitteellinen muutos edellyttää taustalla vaikuttavan kategorisen virheen korjaamista (Chi 2008).

Muutos kategorisessa luokittelussa saattaa tapahtua spontaanisti arkikokemusten perusteella. Esimerkiksi pienet lapset pitävät kasveja usein elottomina olentoina, mutta huomattuaan kasvien kasvavan, tarvitsevan vettä ja kuolevan, he alkavat vähitellen pitää kasveja eläinten tavoin elollisina (Inagaki & Hatano 2003). Tällaiset spontaanit muutokset ovat kuitenkin perin harvinaisia. Kategorisille luokitteluille on tyypillistä pysyvyys, eikä niitä ole totuttu kyseenalaistamaan (Chi 2008). On myös muistettava, että spontaanit muutokset ajattelussa johtavat helposti uudenlaisia virhekäsityksiä sisältävien synteettisten mallien muodostumiseen (Vosniadou ym. 2008). Kaiken kaikkiaan tieteellisen tiedon oppimiseksi vaadittavat ilmiöiden ja käsitteiden kategoriset muutokset ovat oppijan kannalta paljon työlämpiä kuin yksittäisten virhekäsitysten tai jopa virheellisten mallien korjaaminen. Chin mukaan kategorioihin liittyvä käsitteellinen muutos edellyttää lähes poikkeuksetta ohjausta ja aktiivista oppimista. Oppijan on tultava tietoiseksi aiemman tiedon ja uuden tiedon kategorisesta erosta. Lisäksi uusi kategoria (esimerkiksi lämmön tapauksessa prosessimaiset ilmiöt) on ymmärrettävä, mikä vaatii yleensä apua (Chi 2008).

#### *4) Käsitteellinen muutos esikäsitteellisen tiedon järjestymisenä*

Sekä Vosniadou ym. (2008) että Chi (2008) tarkastelevat käsitteellistä muutosta oppijoiden aiemmissa tietorakenteissa tapahtuvina muutoksina. Etenkin Vosniadou ym. (2008) korostavat käsitteiden, uskomusten ja sisäisten mallien jäsentyvän tiedonalakohtaisiksi kehysteorioiksi. DiSessa (2008) suhtautuu kriittisesti oletukseen, että spontaanisti arkikokemusten myötä kehittyvät ajatukset tieteellisistä käsitteistä ja ilmiöistä muodostaisivat yhtenäisiä tietorakenteita. Hänen edustamansa näkemyksen mukaan epätieteellisillä, naiiveilla, käsityksillä ei ole riittävästi suhteita toisiinsa, jotta ne ilmenisivät oppijoille tietorakenteina. Ei voida tarkastella esimerkiksi lasten naiivia fysiikkaa tai naiivia biologiaa olettaen, että ne jäsentyisivät lapsille teorian tapaisina käsiterakennelmina. DiSessa ym. (2004) perustelevat näkemystä esimerkiksi havainnoilla, joiden mukaan lasten teorianomaisina pidetyt käsitykset muuttuvat, kun käsityksiä kysytään hieman eri asiayhteydessä. Jos käsitykset muodostaisivat teorianomaisen rakenteen, lasten tulisi myös käyttää teoriaa samalla tavalla eri asiayhteyksissä. DiSessan (2008) mukaan yhtenäisten käsiterakenteiden puolesta



puhuvat käsitteellisen muutoksen tutkijat eivät riittävästi kyseenalaista olettamiensa teoriarakenteiden yhtenäisyyttä eivätkä tutki yhtenäisyyttä tukevasta empiirisestä aineistosta poikkeavia havaintoja. Havaitut käsitykset kuvataan usein liian yksinkertaistetusti. Esimerkiksi Vosniadou (2002) kuvaa aineistostaan 5–15-vuotiaiden lasten lähes kaikkia käsityksiä voiman käsitteestä lyhyesti yhden sivun taulukossa, kun taas DiSessa (1993) kuvailee vastaavaa ilmiötä lähes 40 mekaniikkaan liittyvää intuitiivisen tiedon komponentin avulla usean sivun verran. DiSessan mukaan ilmiöihin liittyvät naiivit käsitykset ovat usein niin jäsentymättömiä ja niiden hajonta niin suurta, että niiden lyhyt kuvaus on keinotekoisia. Tytlerin (1998) pitkittäistutkimuksen havainnot tukevat DiSessan näkemystä. Lasten ilmanpaineeseen liittyviä käsityksiä ja niiden kehittymistä koskevassa tutkimuksessa havaittiin, että käsitykset riippuvat osittain asiayhteydestä ja perustuvat lukuisiin yksittäisiin käsityksiin ilman ominaisuuksista sen sijaan, että muodostaisivat selkeää yhtenäistä käsiterakennetta.

DiSessan (2008) mukaan naiiveja käsityksiä kuvattaessa on keskityttävä käsitteellistä ymmärrystä pienijakoisemmalle tiedon tasolle. Sen sijaan, että tarkasteltaisiin esimerkiksi lasten käsitystä voimasta, on tarkasteltava niitä lukuisia käsityksiä, jotka aiheuttavat käsityksen voimasta. Tällaisia ovat esimerkiksi käsitys, että ”suurempi vaivannäkö johtaa suurempaan tulokseen” tai intuitiivinen käsitys tasapainosta (DiSessa ym. 2004). DiSessa kutsuu näitä esikäsitteellisiä tiedon rakenneosia fenomenologisiksi primitiiveiksi, kokemukseen perustuviksi alkeiskäsityksiksi. Tämä korostaa niiden saavan alkunsa arkikokemusten tulkitsemisesta. Arkielämässä nämä itsenäiset käsitykset ovat toimivia ja selviytymisen kannalta tuottoisia. Tieteellisiä ilmiöitä selitettäessä ongelmaksi muodostuu fenomenologisten käsitysten tilannesidonnaisuus. Tieteellisen ilmiön ymmärtämiseksi oppija joutuu valikoimaan ja soveltamaan uutta tilannetta varten lukuisia intuitiivisia käsityksiään. Esimerkiksi arkista ymmärrystä tasapainosta tarvitaan mekaanisten ilmiöiden tarkastelemisessa, mutta vasta, kun on ensin ymmärretty kappaleeseen kohdistuvien voimien merkitys (DiSessa 2008). Käsitteellisen muutoksen vaikeus johtuu DiSessan näkemyksen mukaan tarpeesta laajalaiseen aiempien käsitysten järjestelemiseen ja niiden käyttämiseen uudessa tilanteessa. Käsitteellisessä muutoksessa aiemmin epäyhtenäiset ja itsenäiset tiedon osat järjestyvät vähitellen yhtenäisiksi tietorakenteiksi vastaamaan tieteellisiä selitysmalleja.

Tutkimalla käsitteellistä tietoa pienempiä käsitysrakenteita voidaan DiSessan (2008) mukaan tarkastella paremmin yhtenäisten teorioiden muodostumista ja rakennetta. Lisäksi havainnot teorian tilannesidonnaisista muutoksista voidaan selittää hajottamalla

teorian muodostavat käsitteet niitä muodostaviin yksityiskohtaisempiin käsityksiin. Tieteellisten ilmiöiden oppiminen vaatii myös DiSessan mukaan paljon aikaa. Kuten Vosniadou ym. (2008) ja Chi (2008), myös DiSessa (2008) korostaa, että oppijan on tärkeää olla tietoinen käsitteellisen muutoksen edellyttämistä muutoksista ajattelussa. DiSessa lähestyy opettamista virhekäsitysten tai virheellisten ajatusmallien korjaamisen sijaan näkökulmasta, jonka mukaan oppijoilla on entuudestaan lukuisia oikeita käsityksiä, joita paremmin hyödyntämällä myös uusia tieteellisiä asioita voidaan oppia. Käsitusten tilannesidonnaisuuden ymmärtämiseksi on tarpeen oppia samasta aiheesta erilaisissa asiayhteyksissä. Lisäksi oppijoiden käsitysten näkeminen epäyhtenäisinä ja esikäsitteellisinä yhtenäisten teorioiden sijaan auttaa DiSessan mukaan huomioimaan käsitteellisen muutoksen eroavaisuuksia eri oppijoilla.

### *Käsitteellistä muutosta koskevien teorioiden vertailua*

DiSessan (2008) mukaan näkemys ero naiivin tiedon epäyhtenäisyyden ja teoriamaisuuden välillä on ratkaistavissa vain tarkastelemalla naiivia tietoa käsitteellistä tasoa pienemmällä esikäsitteellisellä tasolla (fenomenologiset primitiivit). Näin tekemällä voidaan tiedon yhtenäisyyttä – esikäsitteellisten käsitysten keskinäisten suhteiden määrää – tarkastella myös empiirisesti. Vosniadou ym. (2008) ovat yhtä mieltä siitä, että oppijoilla on arkihavaintoihin perustuvia uskomuksia ja vertaavat niitä DiSessan kuvailemiin fenomenologisiin primitiiveihin. Heidän mukaansa uskomukset sisältyvät muiden oletusten ja ajatusmallien ohella jo varhain muodostuviin melko yhtenäisiin kehysteorioihin, joiden muuttumista käsitteellinen muutos edellyttää. Myös Chi (2008) olettaa, että oppijan aikaisempi tieto on useissa tapauksissa jäsentynyt jokseenkin yhtenäiseksi rakenteeksi tarkastellessaan yksittäisten virhekäsitysten ja virheellisten ajatusmallien muuttumista. Kategorisia virhekäsityksiä tarkastellessaan hän korostaa virheellisiin kategorioihin sijoitettujen käsitteiden uudelleensijoittelua. Tämä – kuten Vosniadoun ym. (2008) virheellisten käsittemallien uudelleenjärjestymisenkin – muistuttaa mekanismeiltaan hieman DiSessan näkemyksen mukaista asiayhteyteen sidottujen käsitysten järjestäytymistä. Sekä Chi että Vosniadou tarkastelevat käsitteitä ja käsitemalleja kuitenkin DiSessan fenomenologisia primitiivejä yleisemmällä tasolla.

Chi rajaa käsitteellisen muutoksen ulkopuolelle tilanteen, jossa opittavaan aiheeseen liittyvä aiempi tieto puuttuu tai ei ole ristiriidassa opittavan tiedon kanssa ja oppiminen on tietoa kartuttavaa. Sen sijaan sekä Vosniadoun ym. että DiSessan teorioiden mukaan

kaikkien tieteellisten ilmiöiden oppimiseen liittyy käsitteellisiä muutoksia: Vosniadoun ym. mukaan myös pelkkä uuden tiedon lisääminen ilman ilmeistä ristiriitaa aikaisemman tiedon suhteen voi johtaa spontaaneihin käsitteellisiin muutoksiin aiempien tietorakenteiden järjestyessä uudelleen. DiSessa mukaan käsitteellisen muutoksen ymmärtäminen esikäsitteellisten käsitysten järjestämiseksi uusiin asiayhteyksiin liittyväksi yhtenäiseksi rakenteeksi selittää myös vaikeutta oppia tieteellisiä ilmiöitä, jotka eivät varsinaisesti ole ristiriidassa aiemman ymmärryksen kanssa.

Käsitteellisen muutoksen prosessiin ja oppijan tietorakenteiden yhtenäisyyteen liittyvistä erimielisyyksistä huolimatta edellä mainitut tutkijat myöntävät uuden tieteellisen tiedon oppimiseen liittyvän usein merkittäviä haasteita (Vosniadou ym. 2008; Chi 2008; DiSessa 2008). Riippumatta siitä, minkälaisesta teoreettisesta näkökulmasta aiemman tiedon merkitystä tarkastelee, on tärkeää etsiä keinoja, jotka auttavat sekä oppijaa että häntä ohjaavaa opettajaa selviytymään näistä haasteista. Vaikka käsitteellisen muutoksen tehostamiseksi suositellut keinot eroavat eri teoreettisten näkemysten välillä, niillä on myös paljon yhteistä. Muun muassa ennakkokäsitysten selvittäminen, niiden puutteista tietoiseksi tuleminen, ja omien oppimista koskevien käsitysten tarkastelu ovat kaikille teoreettisille näkökulmille yhteisiä lähtökohtia, joista tehokkaampia oppimismenetelmiä voidaan kehittää. Yleensä kouluympäristöissä tapahtuvan oppimisen kehittäminen vaatii ehdottomasti myös oppimisen sosiaalisen luonteen huomioimista. Sosiaalisen kontekstin merkitystä tarkastellaan tarkemmin seuraavassa luvussa.

### 2.3 Käsitteellinen muutos sosiaalisessa viitekehyksessä ja tavoitteellisuuden merkitys

Viime vuosikymmeninä kasvanut ymmärrys tiedon ja sen siirtymisen sosiaalisesta ja tilannesidonnaisen luonteesta on ulottunut myös käsitteellisen muutoksen tutkimukseen. Vaikka käsitteellisen muutoksen näkökulma vakiinnutti asemansa tiedonalakohtaisen oppimisen tutkimuksessa 1980-luvulla, tiedonalakohtaisen oppimisen tutkimukseen vaikutti luonnollisesti myös yleisemmän oppimisen tutkimuksen suuntaukset. Vuosikymmenen lopulla huomattiin, että koulussa opitulla tiedolla ei ole juuri merkitystä arkipäivän tilanteissa vaadittavassa soveltamisessa kuten laskutoimituksissa

(Vosniadou 2007b). Havainnot tiedon heikosta siirtymisestä eri ympäristöjen ja tilanteiden välillä saivat monet tutkijat tarkastelemaan lähemmin tiedon sosiaalista ja kulttuurista luonnetta.

Oppimisen tutkimuksessa esitettiin näkökulma, jonka mukaan oppiminen on oppijan mielensisäisten tapahtumien sijaan osallistumista sosiaaliseen toimintaan (Sfard 1998). Tällöin tietoa pidetään kognitiivisten rakenteiden ja niiden käsittelemisen sijaan yksilöiden välisinä toimintoina, vuorovaikutuksen välineinä ja yhteisöin käytänteinä, joiden puitteissa vuorovaikutus toteutuu (Greeno ym. 1996, s.18,20). Sfard (1998) puhuu oppimisen kahdesta paradigmasta, joita hän kutsuu tiedonhankintavertauskuvaksi (acquisition metaphor) ja osallistumisvertauskuvaksi (participation metaphor). Tiedonhankintavertauskuva tarkoittaa oppimista yksilön kognitiivisten tietorakenteiden kasvamisena ja järjestäytymisenä. Osallistumisvertauskuva puolestaan viittaa oppimiseen sosiaalisena toimintana. Greeno (1996) puhuu vastaavasti kognitiivisesta näkökulmasta (cognitive perspective) ja tilannesidonnaisesta näkökulmasta (situative perspective).

Oppimisen tiedonhankintavertauskuvan ja osallistumisvertauskuvan keskeinen ero on suhtautuminen objektiivisen, yksilöiden ulkopuolisen, tiedon olemassaoloon. Osallistumisvertauskuvan kannattajat kiinnittävät huomiota konstruktivistisen tiedonrakentamisen aiheuttamaan ristiriitaan: Miten yksilö voi rakentaa tiedosta vanhan tietonsa pohjalle käsitteitä ja tietomalleja, jotka vaikuttavat täysin vastaavan muiden yksilöiden käsitteitä ja malleja? Sulkemalla pois yksilön ulkopuolisen objektiivisen tiedon olemassaolon ja selittämällä oppimisen osallistumiseksi yhteisön toimintaan osallistumisvertauskuvan kannattajat ratkaisevat subjektiivisen ja objektiivisen tiedon rajanvetoon liittyvät ongelmat (Sfard 1998). Kun tieto ymmärretään tilannesidonnaisen vuorovaikutuksen välineeksi ja toiminnoiksi, saman tiedon siirtyminen tilanteista toiseen ei ole mahdollista. Oppimisen osallistumisvertauskuva ja tilannesidonnainen näkökulma selittävät koulun ja arkielämän välisen tiedon siirtymisen haasteita (Vosniadou 2007b).

Kuitenkin havainnot siitä, että opittu tieto on – pienessäkin määrin – käsiteltävissä erilaisissa tilanteissa, ovat vaikeasti selitettävissä pelkän oppimisen osallistumisvertauskuvan avulla (Sfard 1998). Andersonin ym. (1997) mukaan eri näkökulmia edustavat tutkijat ovat varsin yksimielisiä siitä, että asioiden opettaminen abstraktilla tasolla voi olla tehokasta, opetuksen ei välttämättä tarvitse tapahtua

monimutkaisessa sosiaalisessa ympäristössä ja että opittuja asioita on ylipäättään mahdollista käyttää useissa tilanteissa (Sfard 1998). Vaikuttaa siltä, että kumpikaan edellä kuvatuista oppimisen näkökulmista ei pysty täysin selittämään kaikkia tiedon siirtymisestä tehtyjä havaintoja (Vosniadou 2007b).

Sfard (1998), Vosniadou (2007b) ja Anderson ym. (1997) katsovat, että oppimista on syytä tarkastella sekä tiedonhankinnan ja osallistumisen näkökulmista ja että näkökulmat on mahdollista sovittaa yhteen. Objektiiivisen tiedon mahdollisuuden hyväksyminen ei tarkoita, ettei sosiaalisella vuorovaikutuksella ja muilla oppimistilanteisiin liittyvillä tekijöillä olisi suurta vaikutusta oppimisessa (Vosniadou ym. 2008). Vosniadou (2007b) tukeutuu oppimisen määrittelyssä Hutchinsin (1995, s. 290) määritelmään, jonka mukaan yksilön sisäiset rakenteet muuttuvat kulttuuristen rakenteiden vaikutuksesta. Hutchins (1995, s. 372) muistuttaa myös, että kognitiivisessa tieteessä käytettävät symboliset järjestelmät ovat kehittyneet sosiokulttuurallisessa ympäristössä, eikä kognitiivisen näkökulman erottaminen osallistumisnäkökulmasta ole siksi totuudenmukaista. Sfard (1998) korostaa molempien näkökulmien olevan itsessään puutteellisia ja täydentävän toisiaan. Hän muistuttaa myös oppijoiden ja opettajien olevan erilaisia, minkä vuoksi kapeakatseiseen teoreettiseen näkökulmaan perustuvat opetukselliset sovellukset ja käytännöt eivät voi toimia kaikille.

Vosniadoun (2007b) mukaan käsitteellisen muutoksen näkökulma auttaa ymmärtämään kouluympäristön ja arkitilanteiden välillä havaittua tiedon siirtymisen ongelmia ilman, että objektiiivisen tiedon olemassaoloa kyseenalaistetaan. Arkikokemusten synnyttämän tiedon on havaittu siirtyvän merkittävästi tieteellisen tiedon oppimistilanteisiin, mikä on otettava huomioon tiedon siirtymistä tarkastellessa. Jos oppijan aiempi tieto haittaa opetuksessa opittavan tieteellisen tiedon, esimerkiksi matemaattisten taitojen, oppimista, syntyy jäsentymättömiä tietorakenteita, tai arkitieto ja opittava tieto sekoittuvat virheellisesti. Vosniadoun (2007b) mukaan koulussa opettettujen tietojen ja taitojen soveltamisen vaikeus selittyy usein juuri sillä, että koulussa oppimisessa ei tapahdu tarvittavia käsitteellisiä muutoksia. Oppijan tietorakenteet ja virhekäsitykset eivät korjaannu pysyvästi, vaan oppiminen on pinnallista ja helposti unohtuvaa. Tiedon käsittäminen osallistumisnäkökulmasta käsin sosiaalisen prosessin tuloksena auttaa käsittämään joitakin oppimiseen ja tiedon siirtymiseen liittyviä ongelmia, mutta tiedonalakohtaisen tiedon oppimisessa on syytä tarkastella myös erityisiä käsitteelliseen muutokseen virhekäsityksiin liittyviä seikkoja. Jotta opetus ja sen kehittäminen olisi

mahdollisimman hedelmällistä, tieto on nähtävä sekä opettamisen kohteena että oppijoiden välisenä prosessina (Vosniadou 2007).

Sosiaalisen näkökulman ohella myös oppijan motivaation, tavoitteellisuuden ja tunteiden merkitys on alettu nähdä tärkeänä osana käsitteellisen muutoksen prosessia (Halldén 2008; Sinatra & Pintrich 2003). Tiedostettu ristiriita aiemman tiedon ja uuden tiedon välillä ei usein ole yksinään riittävä edellytys käsitteelliselle muutokselle, edes ohjatuissa oppimistilanteissa (Sinatra & Pintrich 2003). Sinatran ja Pintrichin mukaan oppijan motivaation, tunnepohjaisen vastustuksen ja uskomusten merkitys jää usein liian vähälle huomiolle käsitteellisen muutoksen tarkastelussa. Käsitteellistä muutosta tulisi tarkastella monimutkaisena ilmiönä, jossa vaikuttavat niin oppijan tieto, tavoitteet, tunteet kuin sosiaalinen kontekstikin. Oppija voi kiinnittää tietoisesti huomiota omaan motivaatioonsa ja oppimisen aikaisiin tunneprosesseihinsa, millä saattaa olla merkittävä vaikutus käsitteellisen muutoksen toteutumisessa (Sinatra & Pintrich 2003).

Oppijan tavoitteellisuus vaikuttaa käsitteelliseen muutokseen monella tavoin (Sinatra & Pintrich 2003). Käsitteellinen muutos on usein tiedostamatonta ja oppijalle huomaamatonta (Vosniadou ym. 2008). Kuitenkin etenkin kouluopetuksen edellyttämät tieteelliseen tietoon liittyvät käsitteelliset muutokset eivät yleensä tapahdu spontaanisti, vaan ne vaativat monesti oppijan sitoutumista ja aktiivista roolia aiemman tiedon muuttamisessa (Sinatra & Pintrich 2003). Erityisesti aiemman tiedon kyseenalaistaminen vaatii oppimiselta suurta tavoitteellisuutta (Pintrich 2000). Tavoitteellisessa käsitteellisessä muutoksessa oppija sitoutuu vertailemaan tietoa, tekemään kokeita, kyseenalaistamaan, keskustelemaan, käyttämään aikaa ja säätelemään oppimistaan. Tällöin oppiminen on paitsi todennäköisempää, myös syvällisempää ja pitkäaikaista (Sinatran ja Pintrichin 2003). Tavoitteellisuuden ja motivaation kehittyminen ei välttämättä ole yksinkertaista. Halldénin ym. (2008) mukaan monet käsitteellisen muutoksen teoriat keskittyvät liaksi oppijoiden puutteisiin ja epäonnistumisiin. Tällainen näkökulma haittaa oppijaa näkemästä oppimis-mahdollisuuksiaan ja sitä kautta vähentää käsitteelliseen muutokseen vaadittavaa aktiivista tiedonkäsittelyä. Halldén ym. korostavat DiSessan (2008) näkemyksen suuntaisesti oppijan mahdollisuutta tunnistaa opetuksen avulla sellaista olemassa olevaa tietoaan, joka johtaa oikeaan käsitteelliseen ymmärrykseen.

## 2.4 Oppijoiden käsitteellisten muutosten tukeminen opetuksessa

Jo käsitteellisen muutoksen tutkimuksen alkuaikoina 1980-luvulla alettiin pohtia ratkaisuja virheellisten käsitysten korjaamiseksi ja opetuksen parantamiseksi. Kansainvälinen tiedeaineiden opetuksen tutkimus oli jo edeltävinä vuosikymmeninä kasvanut merkittävästi (White & Gunstone 2008). Usein oppimisen ja opettamisen uudet tutkijat olivat kokeneita opettajia, mistä seurasi tutkimuksen alkuvaiheessa tutkimuslähtökohtien ja tulosten tiivis yhteys käytännön opetuksen kehittämiseen. Opetuksen tutkimuksen tulosten siirtymistä käytännön opetukseen on kuitenkin usein kritisoitu puutteelliseksi, mihin voi vaikuttaa esimerkiksi opettajien haluttomuus ottaa selvää uusimmista tutkimuksista. Käsitteellisen muutoksen tutkimuksen osalta tilanne on Whiten ja Gunstonen (2008) mukaan hieman parempi. Virhekäsitykset ja puutteelliset tietorakenteet ovat kouluympäristössä konkreettisesti havaittavissa, ja opettaja voi osana työtään tarkkailla niiden muuttumista, mikä tuo käsitteellisen muutoksen prosessin mallit lähelle opetuksen arkea. Opettajan motivaatiosta ja teoreettisesta osaamisestakin huolimatta käsitteellisen muutoksen tukeminen on osoittautunut käytännön opetuksessa vaativaksi tehtäväksi (White & Gunstone 2008).

Useissa tiedeaineita käsittelevissä tutkimuksissa on havaittu, että konstruktivistiset lähestymistavat, joissa otetaan huomioon käsitteellisen muutoksen haasteet, johtavat parempiin oppimistuloksiin (esim. Bryce & McMillan 2005; Piquette & Heikkinen 2005). Vaikka kattavia meta-analyysyjä ei ole tehty, tutkimus on vakuuttanut, että käsitteellisen muutoksen periaatteiden ymmärtämisellä ja soveltamisella voidaan olennaisesti vaikuttaa opetuksen laatuun (Duit ym. 2008). Duitin ym. (2008) mukaan konstruktivististen lähestymistapojen puute on viime vuosikymmeninä kasvaneesta teoreettisesta ymmärryksestäkin huolimatta tiedeaineiden opetuksen suurimpia puutteita. He referoivat useita Saksassa, Yhdysvalloissa ja Japanissa tehtyjä tutkimuksia, joissa kartoitettiin opettajien asenteita, opetusmenetelmiä, ja oppilaiden kokemuksia. Tutkimusten perusteella opetuksessa korostuu usein yksioikoinen tiedon siirtäminen opettajalta oppilaalle sen sijaan, että oppilaat aktiivisesti rakentaisivat tietämystään aiemman tiedon ja sen kyseenalaistamisen perusteella. Duit ym. esittävät, että opettajien kohdalla on tapahduttava eräänlainen käsitteellinen muutos, jotta konstruktivistiseen ajatteluun peruvan opetuksen osuus kasvaa.

Aiemmissa luvuissa on käsitteellisen muutoksen teorioiden yhteydessä jo sivuttu sitä, miten käsitteellisen muutoksen haasteet tulisi huomioida opetuksessa. Muun muassa

Vosniadou ym. (2008), Chi (2008) ja DiSessa (2008) korostavat oppijan omaa ymmärrystä tiedon rakentumisesta ja muuttumisesta. Opetuksen seurauksena oppijan tulisi ymmärtää aiemman tiedon ja uuden tiedon välisiä eroja ja osata muuttaa ajatteluaan havaittujen ristiriitojen korjaamiseksi. Opettaja voi pyrkiä tuomaan esiin virhekäsityksiä ja ristiriitoja tai kategorisia virheitä, mutta myös poimimaan oppijoiden aiemmasta tiedosta oikeita asioita, joita voidaan kehittää uuden tiedon oppimiseksi (DiSessa 2008).

Duit ym. (2008) pitävät välttämättömänä, että opetuksen tutkimisessa ja kehittämisessä otetaan huomioon monipuolisesti huomioon käsitteellisen muutoksen teoretisointiin liittyviä näkökulmia. Duit ym. (2007) esittelevät viisi oppimiseen liittyvää osa-aluetta, joiden avulla voidaan suunnitella käsitteellisen muutoksen huomioivaa konstruktivistista tiedeaineiden opetusta. Kuhunkin osa-alueeseen liittyy piirteitä, jotka toteutuessaan kertovat onnistuneesta opetuksesta. Taulukossa 3.1 on esitetty Duitin ym. (2007) kehittämät kategoriat sekä tiivistetty keskeisimmät piirteet kustakin kategoriasta.

<b>A. Tietorakenteiden muodostumisen tukeminen</b>	<b>B. Oppimiskokemuksen merkittävyys ja tarkoituksenmukaisuus</b>	<b>C. Sosiaalinen vuorovaikutus</b>	<b>D. Oppilaiden tukeminen itsenäisinä oppijoina</b>	<b>E. Tieteen harjoittaminen ja tieteellinen tieto</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oppijoiden ymmärrys nykyisestä tietotasostaan</li> <li>- Aiempien käsitysten ja ajattelutapojen kartoittaminen</li> <li>- Ajattelua vaativien ongelmien asettaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oppijoiden mielenkiinnon ja tuntemusten kartoittaminen</li> <li>- Oppimistarpeisiin vastaaminen</li> <li>- Arkielämän ilmiöiden monipuolinen hyväksikäyttäminen</li> <li>- Arkielämän sovelluksista keskusteleminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oppilaiden välinen sekä opettajan ja oppilaan välinen vuorovaikutus: toiminnallisuus ja ajatustenvaihto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mahdollisuus jossain määrin vaikuttaa oppimisjärjestelyihinsä</li> <li>- Kannustaminen itsesäätelyyn ja omien ajatusten käsittelemiseen</li> <li>- Oppilaiden kritiikin huomioiminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tieteen keskeneräisyyden ja eri teorioiden tiedostaminen</li> <li>- Havainnoimisen, todisteiden, hypoteesien ja teorioiden merkitys</li> <li>- Selitysmallien rajallisuuden huomioiminen</li> </ul>

Taulukko 2.1. Konstruktivistisesti orientoituneiden tiedeaineiden oppituntien suunnittelua ohjaavat tekijät. Duitin ym. (2007) mallista tiivistetty.

Käsitteellisen muutoksen tavoitteellisuus ja oppimisen sosiaalinen konteksti limittyvät opetuksessa toisiinsa. Opettajan on mahdollista synnyttää oppijoissa motivaatiota ja vahvistaa sitä hyödyntämällä opetustilanteen sosiaalista luonnetta (Hatano ja Inagaki (2003). Oppijoiden aiemman tiedon ja opittavan tiedon ristiriitojen tiedostaminen on olennainen osa käsitteellisen muutoksen prosessissa. Tiedostamista voidaan Hatanon ja



Inagakin mukaan tehostaa keskustelemalla erilaisista näkemyksistä, esimerkiksi vertaisia opettamalla tai vastakkaisia näkemyksiä puolustamalla. Äänen lausuttuja ristiriitaisia ajatuksia on vaikeampi sulauttaa toisiinsa ja muodostaa virheellisiä synteettisiä malleja. Vertaisryhmässä näkemyksistä keskusteleminen havahduttaa huomamaan omien ja muiden ajattelutapojen välisiä eroja ja edellyttää näkemysten perustelua. Hatanon ja Inagakin mukaan on myös olennaista pyrkiä siihen, että oppiminen ei tapahdu ulkoisten palkintojen tai rangaistusten vuoksi. Yleisellä tasolla opettajan vastuulla on yrittää synnyttää ilmapiiri, jossa oppijat voivat yhteisönä jakaa tavoitteen oppia ymmärtää asioita. Tämä luo otolliset olosuhteet tavoitteellisille käsitteellisille muutoksille ja hedelmälliselle oppimiselle (Hatano & Inagaki 2003).

Käsitteellisen muutoksen tutkimuksen alkuaajoista lähtien on korostettu aiemman tiedon ja uuden tiedon välisen ristiriidan merkitystä muutoksen käynnistäjänä. Posnerin (1982) klassinen teoria perustuu oletukseen, jonka mukaan ristiriidan tiedostaminen ja uuden paremman tiedon mahdollisuus johtaa väistämättömästi käsitteelliseen muutokseen. Opetuksessa on tämän oletuksen perusteella tarpeen korostaa oppijan kognitiivista konfliktia, koettua ristiriitaa aiemman tiedon ja uuden kokemuksen välillä (Duit ym. 2008). Myöhemmin käsitteellinen muutos on ymmärretty monimutkaisemmaksi ja pitkäkestoisemmaksi prosessiksi, ja oppijan laajempien tietorakenteiden on katsottu olevan muutoksessa yksittäisiä virhekesityksiä tärkeämpiä (Vosniadou 2007). Kognitiivisen konfliktin merkitys opetusmenetelmänä on osittain kyseenalaistettu. Oppija on taipuvainen korvaamaan virheelliset käsitykset uusilla virheillä, eikä laajempaa tietorakenteiden korjaamista silloin tapahdu (Vosniadou 1999). Ristiriitojen korostaminen voi johtaa myös johtaa oppijan turhan kielteisiin kokemuksiin osaamisestaan, mikä vähentää virheiden korjaamiseksi vaadittavaa motivaatiota (Halldén ym. 2008). DiSessan (2008) mukaan kognitiivisten ristiriitojen synnyttämistä tehokkaampaa on keskittyä hyödyntämään oppijoiden olemassa olevia oikeita käsityksiä uuden tiedon ymmärtämiseksi sen sijaan, että opetuksessa nähtäisiin paljon vaivaa vain ristiriitojen esiin tuomiseen. DiSessan mukaan oppijoilla on jo valmiiksi ilmiöitä koskevaa oikeaa tietoa yleisemmällä, esikäsitteellisellä tasolla. Tätä tietoa on opittava jäsentämään ja soveltamaan uudella tavalla käsitteellisen muutoksen aikaan saamiseksi ja uuden tiedon ymmärtämiseksi.

Tutkimustulokset kognitiivisen konfliktin hyödyistä vaihtelevat. Guzetti ym. (1993) vertailivat meta-analyysissään tutkimustuloksia erilaisista tiedeopetuksessa käytetyistä menetelmistä eivätkä havainneet eroa kognitiivista konfliktia hyödyntävien ja

hyödyntämättömien menetelmien välillä. Chan ym. (1997) havaitsivat, että kognitiivisen konfliktin kohdanneet opiskelijat eivät välttämättä muuta käsityksiään. Toisaalta Mason (2001) sekä Limon ja Carretero (1999) havaitsivat, että kognitiivinen konflikti saattaa edesauttaa käsitteellistä muutosta ja parantaa oppimistuloksia. Sekä Vosniadou ym. (2008) että Duit ym. (2008) toteavat, että oppijan kokema kognitiivinen konflikti on hyödyllistä vain tarkkaan suunnitellussa opetuksessa, jonka tavoitteena on käsitteellisen muutoksen toteutuminen. Tällaisessa opetuksessa paitsi aiheutetaan oppijalle kognitiivisia konflikteja, myös tiedostetaan käsitteellisen muutoksen pitkäkestoinen prosessi, virheellisen tiedon vähittäinen korjaantuminen ja motivaation ja sitoutuneisuuden tärkeys. Myös Hatano ja Inagaki (2003) pitävät aiempaan tietoon liittyvää kognitiivista ristiriitaa tärkeänä lähtökohtana uuden tiedon onnistuneelle opettamiselle. Heidänkin mukaansa opetukselta vaaditaan suurta huolellisuutta, jotta oppijat ovat valmiita luopumaan virhekäsityksistään ja halukkaita sitoutumaan oikean tiedon ymmärtämiseen.

Opiskelijoiden ennakkotiedon, niin oikean kuin vääränkin, kartoittaminen ja tiedostaminen ovat konstruktivistisen opetuksen toteuttamiseksi joka tapauksessa tärkeitä. Duit ym. (2008) ovat huolissaan oppimisen tutkimuksen ja kouluopetuksen välisestä epä johdon-mukaisuudesta. Heidän mukaan opettajien on tultava tietoisemmiksi oppimisen konstruktivistisista periaatteista ja etenkin käsitteellisestä muutoksesta sosiaalista kontekstia ja oppimisen tavoitteellisuutta unohtamatta. Tämä vaatii Duitin ym. mukaan käsitteellisiä muutoksia myös monissa opettajien syvään juurtuneissa näkemyksissä opettamisesta ja oppimisesta. Tieto opiskelijoiden käsityksistä liittyy käsitteellisten muutosten edistämisen ohella myös laajemmin opettajan työn luonteeseen. Monet oppimisen teoreettista luonnetta koskevat tutkimukset voidaan helposti toistaa opiskelijaryhmässä, mikä osaltaan pienentää oppimisen tutkimuksen ja käytännön opetustyön välistä kynnystä (White & Gunstone 2008). Virtasen ym. (2015) mukaan tämän kaltaisen formatiivisen arvioinnin toteuttaminen ja hyödyntäminen tulisi olla tärkeä osa opetustapahtumaa. Arviointia toteuttaessaan opettaja saa palautetta opetuksen onnistumisesta, mutta vähintään yhtä tärkeää on oppilaan itsensä saamaa palautetta oppimisestaan (Virtanen ym. 2015).

## 2.5 Tiedon ja ajattelutaitojen tasot virhekäsitysten tarkastelun tukena

Oppijan aiemman tiedon ja mahdollisten virhekäsitysten selvittäminen on olennaista käsitteellisiin muutoksiin tähtäävässä oppimisessa ja opetuksessa (Duit ym. 2008). Oppijalle vaativimmat käsitteelliset muutokset kohdistuvat tavallisesti laajoihin käsiterakennelmiin ja useisiin virhekäsityksiin, ja ne edellyttävät aktiivista tiedon prosessointia, kyseenalaistamista ja muokkaamista (Vosniadou ym. 2008, Chi 2008). Toisensuuntainen havainto tehtiin Mikkilä-Erdmannin (2001) tutkimuksessa, jossa virhekäsityksiä aktiivisesti osoittava ja korjaava opetustekstin paransi lasten osaamista erityisesti soveltamista mittaavissa kysymyksissä. Kaiken kaikkiaan tiedon ja ajattelun osa-alueiden erittelemine voi olla monella tapaa hyödyksi opetuksen ja oppimisen kehittämisessä. Osa-alueiden ryhmittelyä voidaan käyttää apuna opittujen asioiden ja taitojen arvioinnissa, minkä lisäksi se auttaa monipuolisen opetuksen suunnittelussa (Jeronen (2005).

Eräs tunnetuimmista ryhmittelyistä on Bloomin taksonomiana tunnettu opetuksen tavoitetaksonomia (Bloom ym. 1954). Tässä ryhmittelyssä erotetaan kuusi kognitiivista tasoa: tietäminen, ymmärtäminen, soveltaminen, analysoiminen, synteetin tekeminen ja arviointi (Bloom ym. 1956). Vuonna 2001 Anderson ja Krathwohl kumppaneineen julkaisivat pitkän kehitystyön jälkeen uuden parannellun version taksonomiasta (Anderson ym. 2001; Krathwohl 2002). Uudessa versiossa tavoitteiden luokittelussa erotetaan kaksi ulottuvuutta: tiedon luokittelu ja ajattelutaitojen luokittelu. Opetuksen tavoite ja toisaalta opittu asia voidaan luokitella sen mukaan, minkälaista tietoa se edustaa sekä sen mukaan, minkälaista ajattelun taitoa se edellyttää. Tiedon ja ajattelutaitojen tasojen luokittelu on esitetty taulukossa 5.1.

Tiedon tasot	Ajattelutaitojen tasot
1. Faktatieto	1. Muistaminen
2. Käsitetieto	2. Ymmärtäminen
3. Menetelmätieto	3. Soveltaminen
4. Metakognitiivinen tieto	4. Analysoiminen
	5. Arvioiminen
	6. Luominen

Taulukko 2.2. Tiedon ja ajattelutaitojen tasot Krathwohlin (2002) mukaan.

Tiedon tasoista faktatieto on tietoa terminologiasta, yksityiskohdista ja kyseisen aihealueen peruselementeistä. Käsitetieto on tietoa teorioista, malleista, rakenteista, periaatteista, yleistyksistä ja luokituksista. Menetelmätieto on tietoa tehtävän ratkaisemiseksi vaadittavista taidoista, tekniikoista, metodeista sekä menetelmien käyttökriteereistä. Metakognitiivinen tieto on tietoa strategioista, tiedon tarkoituksenmukaisuudesta ja tilannesidonnaisuudesta sekä tietoa esimerkiksi omasta osaamisestaan, motivaatiostaan ja tavoitteistaan. Ajattelun tasoista muistaminen liittyy yksityiskohtaisten asioiden tunnistamiseen ja mieleen palauttamiseen. Ymmärtäminen on merkitykseltään laaja ja sisältää muun muassa tulkitsemista, päättelyä, selittämistä, esimerkin antamista ja yhteenvedon tekemistä. Soveltaminen tarkoittaa tiedon tai menetelmän käyttämistä uudessa tilanteessa. Analysoiminen tarkoittaa asioiden erottelamista, jäsentämistä ja piilomerkityksien havaitsemista. Arvioiminen tarkoittaa aiemman tuotoksen tarkastamista ja kriittistä arvostelemista. Luominen tarkoittaa esimerkiksi vaihtoehtoisten oletusten ja ratkaisutapojen kehittämistä, suunnittelemista tai omaperäisen tuotoksen tuottamista.

Tiedon ja ajattelutaitojen tasot ovat siten hierarkkisia, että faktatieto ja muistaminen ovat kognitiivisesti yksinkertaisimpia tasoja ja metakognitiivinen tieto ja luominen puolestaan monimutkaisimpia tasoja (Krathwohl 2002). Hierarkia ei kuitenkaan ole selvärajainen, vaan esimerkiksi jotkin ymmärtämisen osa-alueet saattavat olla kognitiivisesti monimutkaisempia kuin yksinkertaiset soveltamisen osa-alueet. Haastavimmat käsitteelliset muutokset liittyvät virhekäsityksiin, jotka ilmentävät puutteita monimutkaisemmissa tiedon tasoissa ja ajattelun taidoista ymmärtämisessä, soveltamisessa ja analysoimisessa. Voidaan ajatella, että käsitteelliset muutokset edellyttävät erityisesti Krathwohlin (2002) kuvaamista tasoista erityisesti käsitetiedon ja metakognitiivisen tiedon prosessointia.

## 2.6 Opetustekstin rakenne käsitteellisen muutoksen apuna

Tekstien lukeminen on merkittävä osa nykyajan oppimista ja opiskelua. Kouluopetuksessa oppikirjoilla on perinteisesti ollut merkittävä rooli. Oppikirjojen ja niiden itsenäisen lukemisen merkitys kouluopetuksessa kasvaa ylemmille luokille siirryttäessä. Jo lukiossa opiskelijat voivat toisinaan suorittaa kursseja itsenäisesti pelkän oppikirjan avulla osallistumatta lainkaan lähiopetukseen. Korkeakouluissa suurin osa oppimisesta perustuu tekstien lukemiseen. Tekstien lukemista on tutkittu runsaasti

monesta eri näkökulmasta (esim. (Braasch ym. 2013; Ariasi & Mason 2011; Mikkilä-Erdmann 2001; McNamara ym. 1996). Käsitteelliseen muutokseen liittyvät prosessit ja haasteet liittyvät myös tietoa sisältävien tekstien lukemiseen ja niistä oppimiseen.

Tietotekstin ymmärtämistä voidaan pitää monimutkaisena ja muuttuvana prosessina, joissa lukija muodostaa mielikuvan tekstin merkityksestä (Ariasi & Mason 2011). Kintsch (1988) erottelee kaksi tekstinkäsittelyn ja -ymmärryksen tasoa, jotka ovat keskeisiä tekstistä opittaessa. Tekstipohjaisella tasolla lukija poimii tekstistä tietoa ja muodostaa kokonaiskäsitteksen tekstin väittämistä. Tämä ei kuitenkaan riitä tiedon oppimiseen. Kintschin erottelema toinen tekstinymmärtämisen taso on tilannekohtainen. Tämä tarkoittaa, että lukija yhdistää tekstin sisältämän tiedon hänellä ennestään olevaan aihepiiriä koskevaan tietoon. Tilannekohtaisen tason vuoksi lukijan aiemmat käsitykset vaikuttavat tekstistä oppimiseen. Jos aiemmat käsitykset ovat virheellisiä ja ristiriitaisia, tekstin ymmärtäminen edellyttää käsitteellisiä muutoksia aiempaa tietoa koskien (Vosniadou ym. 2008). Tämä edellyttää yleensä lukijalta kognitiivisia valmiuksia ja motivaatiota, mutta myös tekstin rakenne voi edesauttaa käsitteellistä muutosta (Ariasi 2011).

Eräs tekstin rakenteeseen liittyvä ominaisuus, jolla on havaittu olevan yhteys aiempiin tietoihin ja oppimiseen, on tekstin johdonmukaisuus. McNamara ym. (1996) havaitsivat, että johdonmukaisesti etenevät tekstit edesauttoivat oppimista, jos lukijan aiemmat tiedot aiheesta olivat vähäiset. Sen sijaan vähemmän johdonmukaiset tekstit edesauttoivat sellaisten lukijoiden oppimista, joiden aiempi tieto aiheesta oli suhteellisen hyvä. McNamara ym. selittävät tuloksia sillä, että vähemmän johdonmukainen teksti aktivoi lukijaa käsittelemään aihepiiriä koskevaa tietoaan ja edesauttaa ymmärrystä. Sen sijaan lukija, jonka aiempi tieto on vähäistä, hyötyy johdonmukaisesta tekstistä, sillä hänellä ei ole resursseja yhdistellä tekstin tietoja kokonaisvaltaisen ymmärryksen saavuttamiseksi.

Tekstin johdonmukaisuuden vaikutus oppimiseen liittyy etenkin Kintschin (1988) kuvaamaan tekstipohjaiseen tekstinymmärryksen tasoon. Lukijan käsitteellisen muutoksen kannalta on kuitenkin mielenkiintoisempaa tarkastella niitä tekstin ominaisuuksia, jotka liittyvät tilannesidonnaiseen ymmärtämisen tasoon ja lukijan aiempien käsitysten muokkautumiseen. Lukuisissa tutkimuksissa on tutkittu tavallisten selittävien tekstien ja niin kutsuttujen törmäyttävien tekstien (*refutational text*) eroja oppimisen suhteen. Törmäyttävä teksti on sellainen opetusteksti, joka ottaa varta vasten

huomioon aihetta koskevia yleisiä virhekäsityksiä, osoittaa ne vääräksi ja tarjoaa virhekäsityksille tieteellisen vaihtoehdon (Alvermann & Hague 1989; Hynd 2003). Siinä missä tavallinen selittävä teksti esittää aihetta käsittelevää tietoa listamaisesti, törmäyttävä teksti pyrkii tukemaan lukijaa uuden tiedon yhdistämisessä vanhaan tietoon osoittamalla aiemman tiedon mahdollisia virheitä (Mikkilä-Erdmann 2002). Useissa tutkimuksissa törmäyttävien tekstien on havaittu edesauttavan tieteellisten tiedon oppimista selittäviä tekstejä jossain määrin tehokkaammin (Braasch ym. 2013; Ariasi & Mason 2011; Broughton ym. 2010; Mikkilä-Erdmann 2001; Guzzetti ym. 1997). Ero tekstityyppien välillä ei ole kuitenkaan aina ollut selkeä. Esimerkiksi Mikkilä-Erdmann havaitsi fotosynteesiä koskevan törmäyttävän tekstin lukeneiden vastanneen muita paremmin ilmiön kokonaisuymmärrystä vaativiin soveltaviin kysymyksiin, kun taas muistamista ja perustietoa vaativien kysymysten kohdalla eroa ei havaittu.

Törmäyttävän tekstin hyötyjä on perusteltu monella tavalla, vaikka taustalla olevien kognitiivisten prosessien määrittäminen onkin haastavaa (Ariasi & Mason 2011). Hyndin (2003) mukaan törmäyttävän teksti vastaa Posnerin (1982) klassisiin vaatimuksiin käsitteellistä muutosta koskien. Lukijalle osoitetaan aiemman tiedon ja tieteellisen tiedon ristiriita, tieteellinen käsite selitetään selkeästi ja se osoitetaan uskottavaksi ja hyödylliseksi. Lisäksi törmäyttävä teksti lisää todennäköisyyttä, että lukija kiinnittää huomiota aiemmasta tiedostaan poikkeaviin asioihin, ja törmäyttävää tekstiä lukiessaan tekstin käsittely on aktiivisempaa (Hynd 2003). Van den Brook & Kendeou (2008) tutkivat erilaisia tekstejä lukeneiden toimintaa lukemisen aikana (ääneen ajattelu) sekä mallinsivat erilaisten tekstien vaikutusta ymmärtämisprosessiin. Heidän mukaansa virhekäsitysten korjaantuminen tieteellisiksi käsityksiksi vaatii, että kummatkin käsitykset ovat samaan aikaan aktiivisena. Tällaiseen aktivoitumiseen törmäyttävä teksti luo selittävää tekstiä suotuisammat olosuhteet. Kendeau ja van den Brook (2007) havaitsivat myös, että törmäyttävää tekstiä lukevat prosessoivat tekstiä eri tavalla kuin selittävää tekstiä lukevat. Törmäyttävää tekstiä lukevien ajattelu vaikutti olevan lähempänä niitä kognitiivisia strategioita, joiden katsotaan edesauttavan käsitteellistä muutosta. Kendeau ja van den Brook (2007) havaitsivat lukijoiden käyttävän enemmän aikaa tieteellisten lauseiden lukemiseen törmäyttävän tekstiä lukiessaan selittävään tekstiin verrattuna, vaikka eivät havainneet erilaisten tekstien välillä merkitsevää eroa virhekäsitysten muuttumisessa. Myös Ariasi ja Mason (2011) havaitsivat saman ilmiön, kun he vertailivat lukemisprosessia mittaamalla lukijoiden silmänliikkeitä.

Kaikissa tutkimuksissa selkeitä eroja eri tekstityyppien vaikutuksesta ei ole havaittu tai erot rajoittuneet joillekin osa-alueille (esim. Kendeau & van den Brook 2007; Mikkilä-Erdmann 2001). Braaschin ym. (2013) mukaan kaksi syytä voi selittää tutkimusten epäjohdonmukaisia tuloksia. Oletukset törmäyttävien ja selittävien tekstien eroista lukemisen ja lukijan aiemman tiedon käsittelyssä saattavat olla vääriä tai liian yksinkertaisia. Toinen mahdollinen syy on tutkimuksissa käytettyjen tekstien eroavaisuudet. Esimerkiksi joissakin tutkimuksissa selittävää tekstiä on yhtäläisen pituuden saavuttamiseksi täydennetty lisätiedolla, mikä voi Braaschin ym. mukaan edistää selittävästä tekstistä oppimista ja kaventaa eroja tekstityyppien välillä. Tutkijat (Braasch ym. 2013) toivatkin esiin, että tutkimuksen tulisi jatkossa selvittää, miten lukijan aiempi tieto vaikuttaa törmäyttävän tekstin mahdolliseen vaikutukseen.

### **3 Fotosynteesin oppiminen ja opettaminen**

Fotosynteesi on useimmissa kasveissa sekä joissakin levissä ja bakteereissa tapahtuva reaktio, jossa ilmakehän kaasumaisesta hiilidioksidista sekä vedestä muodostuu auringon valoenergian vaikutuksesta sokeria eliön käyttöön. Reaktiossa muodostuu myös happea, jota eliö käyttää hengityksessään ja vapauttaa ilmakehään. Fotosynteesiä koskeva ja siihen liittyvä ohjattu opetus tapahtuu Suomessa peruskoulussa ja lukiossa lähinnä biologian oppiaineessa. Opetuksesta määrätään opetussuunnitelman perusteissa, joihin koulujen opetussuunnitelmat perustuvat (POPS 2004; LOPS 2003). Opetussuunnitelmien perusteissa määritellään eri aihealueiden oppimistavoitteet ja keskeiset sisällöt.

Fotosynteesin oppiminen on havaittu vaikeaksi (Koba & Tweed 2009; Mintzes & Wandersee, 1998b), ja fotosynteesiin liittyviä käsityksiä ja virhekäsityksiä on kartoitettu monissa aiemmissa tutkimuksissa (esim. Eisen & Stavyn 1988; Amir & Tamir 1994; Barman ym. 2006; Boyes & Stanisstreet 1991; Özay & Öztas 2003). Käsitteellistä muutosta korostavien oppimisteorioiden perusteella fotosynteesiä koskevilla aiemmalla tiedolla ja virhekäsityksillä on keskeinen merkitys fotosynteesin oppimisen ja opettamisen kannalta (Duit ym. 2008, Vosniadou ym. 2008). Fotosynteesi on energian virtauksen ja aineiden kierron suhteen silta elottoman ja elollisen luonnon välillä ja keskeinen ilmiö tärkeiden ekologisten periaatteiden ymmärtämiseksi (Lin & Hu 2010).

Siksi fotosynteesin oppiminen on olennainen osa peruskoulussa ja lukiossa opittavaa biologista ymmärrystä. Seuraavaksi tarkastellaan fotosynteesiä osana peruskoulun ja lukion biologian opetusta sekä fotosynteesin oppimiseen liittyviä vaikeuksia.

### 3.1 Biologian opetuksen tavoitteet, menetelmät ja fotosynteesin opettaminen

Biologian opetuksen ja opiskelun lähtökohtana pidetään usein ympäristökasvatuksellista näkökulmaa (Eloranta 2005). Suomessa opetussuunnitelmien perusteissa biologian opetuksen tavoitteina painotetaan ympäristötietoisuutta, vastuullisuutta ja positiivista luontosuhdetta (POPS 2004, s.176–182, LOPS 2003, s. 130). Tavoitteet korostavat ihmisen ja ympäristön vuorovaikutusta ja sen ymmärtämistä. Tällaisessa biologian opiskelussa luonnon ilmiöiden kognitiivinen tietäminen ja ymmärtäminen yhdistyvät oppijan tuntemiseen, tahtomiseen ja tapaan toimia (Eloranta 2005, s.32). Biologisen ymmärryksen lisääntyminen ja luontoa koskevien asenteiden ja kokemusten kehittyminen siis seuraavat toisiaan. Opiskelijat tarvitsevat teoreettista taustaa ymmärtääkseen havaitsemiaan ilmiöitä, herkistyäkseen havaitsemaan niitä ympäristössään ja kyetäkseen soveltavaan tiedonhankintaan (Eloranta 2005, s.35).

Biologian luonnetta tieteenalana kuvastavat erityisesti biologisen tiedon jakautuminen selviin organisaatiotasoihin sekä kokeellinen tiedonhankinta. Molemmat piirteet kuvastuvat myös opetuksessa. Uusimmissa opetussuunnitelmissa ongelmalähtöinen tutkiva tiedonhankinta ja ohjatut kokeelliset tutkimukset korostuvat etenkin peruskoulussa (POPS 2004, s. 170,176,180). Tutkimusten tekemisen ja tutkimuksellisen lähestymistavan ajatellaan kehittävän oppilaiden luonnontieteellistä ajattelua ja ilmiöiden syvällistä ymmärtämistä (Eloranta 2005). Tutkimukset muuttuvat asteittain systemaattisemmiksi ylemmille luokille siirryttäessä, ja lukiossa tavoitteena on osata toteuttaa yksinkertainen biologinen koe ja tulkita sen tuloksia. Tutkimuksia tekemällä opittavan asian voi yhdistää oppilaiden aiempiin kokemuksiin, mikä on keskeistä konstruktivistisen oppimiskäsitykselle mukaiselle opetukselle. Kokeellisuuden ohella opetusta on yleisesti pyritty muuttamaan opettajajohtoisesta tiedonsiirtämisestä oppilaskeskeiseksi havainnoinniksi ja tiedonkäsittelyksi ja opetustapahtumia siirtämään luontoon ja luokan ulkopuolisiin yhteisöihin (Eloranta 2005).



Biologian aihealueita koskeva opetus alkaa nykyisten opetussuunnitelman perusteiden mukaan peruskoulun vuosiluokilla 1–4 ympäristö- ja luonnontieto -nimisenä oppiaineena (POPS 2004, s. 172). Vuosiluokilla 5–6 opiskeltava biologia sisältyy biologia ja maantieto nimiseen oppiaineeseen. Vuosiluokilla 7–9 biologiaa opetetaan omana oppiaineena. Lukiossa opiskelijoille on tarjottava vähintään viisi biologian kurssia, joista toistaiseksi voimassa olevien säädösten mukaan kaksi on opiskelijoille pakollisia.

Biologian sisältöjen suhteen opetussuunnitelmat etenevät spiraaliperiaatteella, niin että tiettyä aihealuetta koskevat tiedot ja taidot lisääntyvät vähitellen alemmilta luokilta ylemmille siirryttäessä. Esimerkiksi fotosynteesiä koskevaa tietoa mainitaan jo vuosiluokkien 1–4 kohdalla, jolloin oppilaiden tulisi ”tietää mistä ruoka-aineet ovat peräisin ja missä ruoka tuotetaan” (POPS 2004, s. 172). Vuosiluokilla 5–6 oppilaan tulee ”tietää, että vihreät kasvit valmistavat itse oman ravintonsa yhteyttämisen avulla” ja ”ymmärtää ja osata antaa esimerkkejä siitä, miksi ja miten ihminen on riippuvainen luonnosta ja osata selvittää peruselintarvikkeiden alkuperän” (POPS 2004, s. 178). Vuosiluokkien 7–9 aikana oppilaan pitäisi osata ”kuvata ekosysteemin perusrakenteen ja toiminnan” sekä ”selostaa fotosynteesin ja kuvata sen merkityksen eliökunnan kannalta” (POPS 2004, s. 181). Lukiossa pakollisten kurssien tavoitteina on, että opiskelija ”tuntee ekosysteemin keskeiset toimintaperiaatteet” ja ”hallitsee solun energiatalouden prosessit ja niiden merkityksen” (LOPS 2003, s. 131). Lisäksi fotosynteesi liittyy välillisesti myös moniin muihin opetussuunnitelmien perusteissa mainittuihin aihealueisiin, kuten solujen rakenteeseen, aineiden kiertoon, ekosysteemien rakenteisiin ja kestävään kehitykseen. Varsinkin peruskoulussa fotosynteesiä ja yhteyttämistä käytetään usein synonyymien tavoin, eikä käsitteiden eron tunteminen ole tavoitteena.

Fotosynteesin käsittely alkaa alimmilla luokilla opetussuunnitelman mukaisesti ruoka-aineiden alkuperästä. Sen jälkeen on tarkoitus oppia yhdistämään ruoan tuottaminen vihreiden kasvien yhteyttämiseen. Ylemmillä luokilla tulisi ymmärtää fotosynteesin kokonaisvaltainen merkitys ekosysteemien ravinnontuotannolle ja kaikille eliöille. Lukiossa fotosynteesin osalta korostuu aiempaa voimakkaammin myös solubiologinen taso. Opetussuunnitelmissa käytetyt termit kuten kuvaaminen ja tietäminen viittaavat Krathwohlin (2002; ks. Taulukko 2.2) kuvaamista ajattelutaitojen tasoista alimpiin, erityisesti muistamiseen. Kuitenkin opetussuunnitelmissa mainitut tavoitteet esimerkiksi elintarvikkeiden alkuperästä, ja fotosynteesin merkityksestä eliökunnalle edellyttävät

fotosynteesiin liittyvän tiedon perusteellista ymmärtämistä ja soveltamista. Opetussuunnitelman perusteiden mukainen fotosynteesin käsittely alkaa oppilaita lähellä olevista asioista, ja siinä korostuu kasvien merkitys ekosysteemien ravinnontuottajina. Lukion käytyään opiskelijoilla tulisi olla kattava ymmärrys fotosynteesistä niin sekä solubiologisen ilmiönä että ekologisessa merkityksessä. Tutkimus on kuitenkin osoittanut, että fotosynteesin oppimisessa on haasteita ja fotosynteesiin liittyviä virhekäsityksiä esiintyy yleisesti (esim. Eisen & Stavyn 1988; Amir & Tamir 1994; Barman ym. 2006; Boyes & Stanisstreet 1991; Özay & Öztas 2003)

### 3.2 Fotosynteesin oppimisen vaikeus

Fotosynteesi on keskeinen ilmiö yleisimpien ekologisten periaatteiden käsittämiseksi. Se toimii siltana elottoman ja elollisen luonnon välillä energian virtauksen ja aineiden kierron suhteen (Lin & Hu 2010). Kasvit ovat tuottajina useimpien ravintoverkkojen perusta ja sitä kautta nykyisen biodiversiteetin edellytys. Fotosynteesi onkin todettu tärkeäksi kouluopetuksen aiheisällöksi ja siihen liittyvät oppimistavoitteet on yksilöity opetussuunnitelman perusteissa selkeästi. Oppilaiden fotosynteesiä koskevista virhekäsityksistä on lukuisia aiempia tutkimuksia, ja myös fotosynteesin oppimisen vaikeuden syitä on pohdittu kirjallisuudessa (esim. Barman ym. 2006; Marmaroti & Galanopoulou 2007; Boyes & Stanisstreet 1991; Russell ym. 2004; Koba & Tweed 2009). Useimmissa tutkimuksissa virhekäsityksiä on selvitetty kouluikäisiltä lapsilta ja nuorilta.

Useimmat fotosynteesiä koskevat virhekäsitykset koskevat kasvien kykyä muuttaa ilman hiilidioksidia orgaaniseksi hiileksi ja kasvien biomassaksi yhteyttämisreaktiossa (Koba & Tweed 2009). Kaikenikäisillä oppilailta on vaikeuksia ymmärtää, että kasvi tuottaa tarvitsemansa ravinnon omavaraisesti auringon valosta yhteyttämällä (Mintzes & Wandersee 1998b). Kasvien ravinnonhankintaan liitetään ihmismäisiä piirteitä, kuten syöminen, jolloin kasvien tarvitsemia maaperän ravinteita pidetään kasvien ravintona (Barman ym. 2006). Eisenin ja Stavyn (1988) tutkimuksessa oppilaat nimesivät hiilidioksidin kasvin massan lähteeksi, mutta kysyttäessä konkreettisemmin kasvin taimen massan lisäyksen syytä, hiilidioksidia ei yleensä osattu mainita. Fotosynteesi voi myös sekoittua soluhengitykseen monin tavoin. Oppilaat saattavat pitää fotosynteesiä kasvien vastineena soluhengitykselle tai luulla, että kasveissa ei tapahdu soluhengitystä

(Amir & Tamir 1994). Yksi virhekäsityksiä kuvastava näkemys on, että kasvit yhteyttävät päivällä ja soluhengittävät yöllä (Russel ym. 2004).

Fotosynteesin ekologinen merkitys ja yhteys ravintoketjujen toimintaan on niin ikään havaittu vaikeaksi ymmärtää (Mikkilä-Erdmann 2002; Stavy ym. 1987). Özayn ja Öztasin (2003) tutkimuksessa monet oppilaat korostivat hapen tuottamisen merkitystä energian tuottamisen sijaan. Fotosynteesiä pidettiin ensisijaisesti kaasujenvaihtoprosessina, jossa kasvit valmistavat hiilidioksidista happea muille eliöille. Fotosynteesiä saatetaan pitää ainoastaan eläimiä ja ihmisiä hyödyttävänä prosessina myös ravinnontuotannon kannalta, eikä yhteyttä kasvien omaan ravinnontarpeeseen ymmärretä (Koba & Tweed 2009). Aina oppilailla ei ole etäistäkään käsitystä yhteyttämisestä. Sitä saatetaan pitää esimerkiksi kasvien lisääntymisprosessina (Amir & Tamir 1994), tai auringonvaloa voidaan pitää kasvien keinona lämpimänä pysymiseen (Özay & Öztas 2003).

Edellä mainitut tutkimukset koskevat kouluikäisten oppilaitten virhekäsityksiä, mutta myös yliopisto-opiskelijoilla on todettu olevan samankaltaisia virhekäsityksiä kasvien energiansaantiin ja ravintoon liittyen (Södervik ym. 2013; Ahopelto ym. 2011; Ross ym. 2005; Boyes & Stanisstreet 1991). Virhekäsitykset eivät siis vaikuta korjaantuvan iän vanhenemisen tai kokemuksen karttumisen myötä.

Fotosynteesiin liittyvien virhekäsitysten yleisyydelle on esitetty syitä, jotka liittyvät ilmiön laaja-alaiseen ja abstraktiin luonteeseen. Fotosynteesireaktio ja sen vaikutukset eliöille sisältävät elämän eri organisaatiotasot molekyyleistä aina ekosysteemitasoon, joten ilmiön kattava ymmärtäminen vaatii lukuisten biokemian ja ekologian käsitteiden tuntemista (Marmaroti & Galanopoulou 2007). Puutteet kemiaan liittyvissä käsitteissä ja kyvyssä soveltaa kemian tietoja biologisiin kysymyksiin voivat estää fotosynteesin kokonaisvaltaisen ymmärtämisen. Reaktion lähtöaineiden ja tuotteiden hahmottaminen ja erityisesti kaasumaisen hiilen muuttuminen orgaaniseksi hiileksi on vaikea ymmärtää ilman kemian perusymmärrystä (Marmaroti & Galanopoulou 2007). Laaja-alaisuuden ohella fotosynteesi on ilmiönä käsitteellinen ja abstrakti, koska reaktiota ei voi nähdä paljain silmin (Russell ym. 2004). Intuitiivisesti kasvit vaikuttavat eliöinä myös hyvin passiivisilta, jopa elottomilta (Hatano & Inagaki 2003).

Russellin ym. (2004) mukaan fotosynteesin opetuksessa korostuu usein molekyylytaso, eikä fotosynteesin reaktioiden havaitsemiseen ei ole kovin hyviä luokkaympäristöön

soveltuvia demonstraatioita. Tämän vuoksi fotosynteesi vaikuttaa oppilaiden näkökulmasta abstraktilta. Yksi mahdollinen syy fotosynteesiin liittyvien virhekäsitysten yleisyyteen on myös eläinten ja eläinten fysiologian korostuminen opetussuunnitelmissa ja opetuksessa (Russell ym. 2004). Suomalaisissa opetussuunnitelmissa fotosynteesi on kattavasti huomioitu, mutta esimerkiksi kasvien fysiologiaa käsitellään huomattavasti eläinten fysiologiaa vähemmän.

Vosniadou ym. (2008) esittävät fotosynteesiin liittyvien lukuisten virhekäsitysten johtuvan arkikokemuksia ja opetusta sekoittavien synteettisten mallien muodostumisesta: kun pienet lapset oppivat havaintojensa perusteella, että kasvit ovat eläviä eliöitä, he alkavat selittävää kasvien toimintaa eläinten toiminnan analogiana. Lasten ajattelussa kasvi syö juurillaan maasta ruokaa, esimerkiksi vettä ja ravinteita, jotka kertyvät kasviin ja kasvattavat sen kokoa (Inagaki & Hatano 2003). Vaikka lapsille kerrotaan fotosynteesistä, he eivät usein kyseenalaista aiempaa intuitiivista tietoa kasveista niin paljon, että hylkäisivät virheellisen mallin kokonaan. Vosniadou ym. (2008) kuvaavat joitakin yleisiä uutta ja vanhaa tietoa virheellisesti yhdistäviä synteettisiä malleja. Fotosynteesi saatetaan ymmärtää hengittämiseksi, kaasujenvaihdoksi tai ilman puhdistamiseksi samalla kun kasvien ravinnonhankinta käsitetään edelleen juurien avulla tapahtuvaksi syömiseksi. Kehittyneemmissä synteettisissä mallit sisältävät edelleen käsityksen ruuan saamisesta juurilla, mutta niihin liitetään eri tavoin myös ilmasta tai valosta saatava ravinto.

Oppilaiden ennakkokäsitysten selvittämistä ja kyseenalaistamista pidetään keskeisenä keinona tehostaa fotosynteesin oppimista (Koba & Tweed 2009; Barman 2006; Russell ym. 2004). Tällöin oppijaa voidaan ohjata aktiiviseen käsitteelliseen muutokseen, joka johtaa aiemman teorian muuttumiseen kohti tieteellistä mallia (Vosniadou 2007). Ennakkotiedon huomioivan ja virhekäsitysten korjaamiseen aktiivisesti kannustavan fotosynteesin opetuksen on joissakin tutkimuksissa havaittu johtavan perinteisiä keinoja parempiin oppimistuloksiin. Mikkilä-Erdmann (2001) havaitsi virhekäsityksiä huomioivan törmäyttävän opetustekstin parantavan oppimistuloksia soveltavien kysymysten osalta. Yenilmez ja Tekkaya (2006) havaitsivat törmäyttävän opetustekstin yhdistettynä virhekäsityksiä käsittelevään ohjattuun ryhmäkeskustelun parantavan oppimistuloksia tavanomaiseen selittävään opetukseen verrattuna. Myös Tlala, Kibirike ja Osodo (2014) havaitsivat käsitteelliseen muutokseen aktiivisesti kannustavan opetuksen johtavan tavanomaista fotosynteesin opetusta parempiin tuloksiin.

## 4 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, millaisia virheellisiä ja puutteellisia käsityksiä biologiaa opiskelevilla yliopisto-opiskelijoilla on fotosynteesiin ja sen ekologiseen merkitykseen liittyen. Lisäksi tutkitaan, miten virhekäsitykset muuttuvat laadullisesti opetustekstin lukemisen seurauksena ja miten biologian pääaineopiskelijoiden ja sivuaineopiskelijoiden virhekäsitykset eroavat toisistaan. Laadullinen analyysi mahdollistaa yksityiskohtaisten tulkintojen tekemisen aineistosta valitun näkökulman suhteen (Cohen ym. 2007, s. 461).

Yliopisto-opiskelijoiden virhekäsitysten selvittäminen auttaa ymmärtämään, minkälaisia virhekäsityksiä on jäänyt peruskoulun ja lukion opetuksen sekä aikuisikään jatkuneiden arkikokemusten jälkeen. Suomalaisten opiskelijoiden virhekäsitysten tutkiminen antaa mahdollisuuden tarkastella juuri suomalaisen opetussuunnitelman oppimistavoitteiden toteutumista.

Virhekäsitysten tunnistaminen ja tiedostaminen ovat keskeisiä tekijöitä opetuksessa, jossa pyritään edistämään käsitteellisen tiedon oppimista ottamalla kokonaisvaltaisesti huomioon käsitteellisen muutoksen prosessi (Duit ym. 2008; Vosniadou ym. 2008). Virhekäsitysten laadullinen vertailu ennen opetustekstin lukemista ja sen jälkeen antaa mahdollisuuden tarkastella, miten käsitteellisen muutoksen teorioiden avulla voidaan selittää virhekäsitysten muuttumista ja erilaisten virhekäsitysten korjaantumisessa mahdollisesti havaittavia eroja.

Tutkimuksen kohdejoukkona on sekä biologian pääaineopiskelijoita että biologian sivuaineopiskelijoita. Pääaineopiskelijoiden virhekäsitysten tutkiminen tarjoaa tietoa siitä, millaisia virhekäsityksiä melko paljon biologiaa lukeneilla ja oletettavasti motivoituneilla yliopisto-opiskelijoilla on. Sivuaineopiskelijoiden virhekäsitysten voi olettaa olevan lähempänä keskimääräisen ylioppilastutkinnon tai muun toisen asteen tutkinnon suorittaneen aikuisen tai ainakin yliopisto-opiskelijan käsityksiä. Sivuaineopiskelijat ovat opiskelleet peruskoulun ja useimmiten lukion pakollisen biologian oppimäärän, mutta eivät välttämättä enempää, eivätkä he ole lukeneet biologian pääsykokeisiin. Suuri osa sivuaineopiskelijoista opiskelee biologiaa saadakseen pätevyyden biologian aineenopettajan tehtäviin. Näin ollen sivuaineopiskelijoiden virhekäsitykset ovat biologian opetuksen ja oppimisen kannalta mielenkiintoisia myös siksi, että monet sivuaineopiskelijoista opettavat biologiaa

tulevaisuudessa peruskouluissa ja lukioissa. Tällöin mahdolliset omat virhekäsitykset, kuten myös puutteelliset ja epävarmat käsitykset, vaikuttavat opetuksen laatuun.

Aineiston kvantitatiivisessa analyysissä on saatu viitteitä, että virhekäsityksiä aktiivisesti osoittava opetusteksti saattaa korjata alkutiedoiltaan heikkojen opiskelijoiden virhekäsityksiä paremmin kuin opetusteksti, jossa yleisiä virhekäsityksiä ei erikseen korosteta (Södervik ym. 2015). Södervikin ym. (2015) tulosten perusteella tässä tutkimuksessa erilaisten opetustekstien vaikutusta virhekäsityksien korjaantumiseen analysoidaan laadullisesti ainoastaan biologian sivuaineopiskelijoiden kohdalla. Laadullisen tarkastelun avulla erilaisten opetustekstien vaikutusta voidaan tarkastella suhteessa laadultaan erilaisten virhekäsityksien korjaantumiseen.

### **Tutkimuskysymykset ovat:**

1. Minkälaisia virheellisiä käsityksiä yliopisto-opiskelijoilla on yhteyttämisestä?
2. Miten virheelliset käsitykset muuttuvat opetustekstin lukemisen jälkeen, ja millainen vaikutus erilaisilla opetusteksteillä on virhekäsitysten muuttumiseen?
3. Miten biologian pääaineopiskelijoiden käsitykset eroavat sivuaineopiskelijoiden käsityksistä?

## **5 Aineisto ja menetelmät**

### **5.1 Osallistujat**

Tutkimuksessa selvitettiin Helsingin yliopiston Bio- ja ympäristötieteellisen tiedekunnan Biotieteiden perusteet –kurssille syksyllä 2011 osallistuneiden opiskelijoiden virhekäsityksiä yhteyttämisestä. Biotieteiden perusteet -kurssi on ensimmäisen vuoden biologian pääaineopiskelijoille sekä biologian sivuaineopiskelijoille suunnattu luentokurssi, jolla käsitellään biologian eri osa-alueiden perusteita. Tutkimuksen aineisto koostui yhteensä 171 opiskelijan vastauksista fotosynteesiä ja siihen liittyvää ekologiaa koskeviin avoimiin kysymyksiin.

Tutkimukseen osallistuneiden opiskelijoiden pääaine ja sukupuoli selvitettiin yliopiston opiskelijarekisteristä. Opiskelijat muodostivat pääaineen suhteen kaksi ryhmää: 27 % ( $n=46$ ) heistä opiskeli biologiaa pääaineenaan ja 73 % ( $n=125$ ) opiskeli biologiaa sivuaineena. Sivuaineopiskelijoiden pääaineista yleisimpiä olivat maantiede, maa- ja metsätalous, kemia, matematiikka ja käsityötiede. Monet sivuaineopiskelijat opiskelivat biologiaa osana opettajankoulutustaan. Kaikista opiskelijoista 75 % oli naisia ja 25 % miehiä. Heidän ikänsä vaihteluväli oli 17 vuodesta 68 vuoteen ja keskiarvo 23 vuotta.

## 5.2 Aineiston keruu

Aineisto kerättiin toisten tutkijoiden toimesta syksyllä 2011 (Södervik ym. 2015). Aineisto kerättiin kahden kurssikerran aikana ennen fotosynteesiä tai muita kasvibiologian sisältöjä koskevaa opetusta. Myöskään muilla ensimmäisen vuoden pääaineopiskelijoille tai sivuaineopiskelijoille suunnatuilla kursseilla ei ollut käsitelty fotosynteesiä ennen tutkimusajankohtaa. Voidaan olettaa, että opiskelijat eivät olleet opiskelleet fotosynteesiä peruskoulun ja lukion jälkeen lukuun ottamatta biologian pääaineopiskelijoiden pääsykokeeseen valmistautumista. Biologian pääaineen pääsykokeet perustuvat lukion biologian oppimäärään. Vuoden 2011 pääsykokeessa ei ollut fotosynteesiin liittyviä kysymyksiä.

Aineisto kerättiin kolmessa vaiheessa, joita olivat esimittaus, jälkimittaus ja viivästetty jälkimittaus. Esimittauksen ja jälkimittauksen välissä toteutettiin teksti-interventio. Esimittaus, teksti-interventio ja jälkimittaus toteutettiin yhdellä pakollisella luentokerralla, joskin tutkimukseen osallistuminen oli läsnäolijoille vapaaehtoista. Esimittauksessa opiskelijat vastasivat aluksi kymmeneen avoimeen fotosynteesiä koskevaan kysymykseen (liite 1). Osa kysymyksistä mittasi selkeärajaisia muistettavaa tietoa, kuten fotosynteesireaktion sijaintia solussa (kysymys 2) tai ilmarakojen toimintaa (kysymys 6). Suurin osa kysymyksistä oli kuitenkin luonteeltaan soveltavia, ja niihin vastaamiseksi oli ymmärrettävä fotosynteesireaktion lisäksi sen merkitys kasveille, kuluttajille, ravintoketjuille ja ravinnontuotannolle. Näin ollen kysymyksillä mitattiin monipuolisesti opiskelijoiden erilaisia tiedon tasoja, ja menestyksekkäs vastaaminen edellytti muistamisen lisäksi myös tiedon ymmärtämistä, soveltamista ja analysoimista (Kratwohl 2002).

Esimittauksen jälkeen opiskelijat saivat luettavakseen noin kolmen sivun mittaisen fotosynteesiä koskevan opetustekstin. Puolet opiskelijoista ( $n = 87$ ) luki yleisiä virhekäsityksiä osoittavan ja korjaavan törmäyttävän tekstin ja puolet opiskelijoita ( $n = 85$ ) luki tavallisen selittävän tekstin. Erilaisten tekstien lukijat valittiin yksilötasolla satunnaisesti, kuitenkin niin, että puolet pääaineopiskelijoista ja puolet sivuaineopiskelijoista luki yleisiä törmäyttävän tekstin ja puolet selittävän tekstin. Kumpikin teksti käsitteli kasvien ravinnonhankintaa, omavaraisuutta ja fotosynteesin merkitystä ravintoketjuille, ja molemmat tekstit sisälsivät vastaukset avoimiin kysymyksiin. Tekstit olivat muutoin keskenään samanlaiset, mutta törmäyttävässä tekstissä oli lisäksi kaksi kappaletta, joissa osoitettiin yleisiä virhekäsityksiä ja oikaistiin niitä. Seuraava katkelma on esimerkki tutkimuksen törmäyttävään tekstiin lisätystä kappaleesta:

*”Monet ajattelevat kasvienkin saavan tarvitsemansa aineet ja energian valmiina ympäristöstään, kuten eläimet saavat syömästään ruuasta. Jos sinä ajattelet näin, käsityksesi on virheellinen. Kasvi valmistaa ravinteita lukuun ottamatta kaiken muun tarvitsemansa ravinnon itse. Vain yhteyttävät eliöt pystyvät tähän. Puhekielessä saatamme sekoittaa ravinteet ja ravinnon, mutta tieteellisessä mielessä ne ovat eri asioita.”*

Törmäyttävissä tekstikappaleissa käsiteltiin kasvien ja eläinten eroa energianhankinnassa, ravinnon ja ravinteiden eroa sekä energian virtauksen ja aineen kierron eroa ravintoketjuissa. Näihin aiheisiin on aiemmin havaittu liittyvän lukuisia virhekäsityksiä (esim. Södervik ym. 2013; Ahopelto ym. 2011; Ross ym. 2005; Boyes & Stanisstreet 1991). Törmäyttävä teksti oli lisättyjen kappaleiden vuoksi hieman selittävää tekstiä pidempi (560 sanaa ja 658 sanaa). Tekstien lukemisen jälkeen suoritettiin jälkimittaus, jossa opiskelijat vastasivat toisen kerran samoihin avoimiin kysymyksiin kuin esimittauksessa (liite 1). Vastaaminen tapahtui samalla luentokerralla sen jälkeen, kun luetut tekstit oli kerätty pois. Opiskelijat näkivät aiemmat vastauksensa kysymyksiin ja saivat halutessaan merkitä vastaavansa saman vastauksen, lisätä tietoja aiempaan vastaukseen tai korjata vastausta.

Kahden viikon kuluttua suoritettiin viivästetty jälkimittaus, jossa opiskelijat vastasivat vielä kerran samoihin avoimiin kysymyksiin. Viivästetyssä mittauksessa opiskelijat eivät nähneet aiempia vastauksiaan. Luentokerta, jolla viivästetty mittaus suoritettiin, ei ollut pakollinen, joten viivästettyyn mittaukseen osallistuneiden opiskelijoiden määrä oli huomattavasti alkuperäistä pienempi: 20 pääaineopiskelijaa ja 42



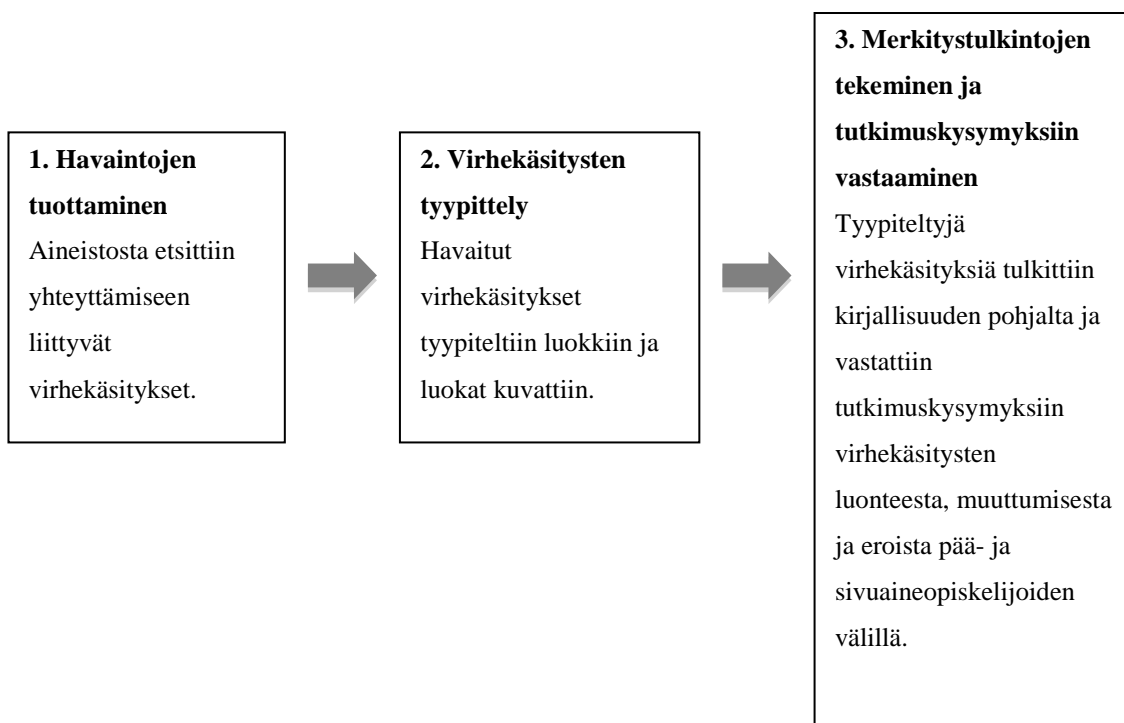
sivuaineopiskelijaa. Lisäksi kuusi opiskelijaa kummastakin ryhmästä ei vastannut kaikkiin kysymyksiin vaan jätti vastaamisen kesken muutaman kysymyksen jälkeen. Viivästetyn jälkimittaukseen tuloksia käytettiin kuitenkin analyysin tukena. Niiden avulla voitiin selvittää mahdollisen oppimisen pysyvyyttä, sillä todellinen käsitteellinen muutos tarkoittaa tietorakenteiden pysyvää korjaantumista tai järjestymistä, ei lyhykestoista tai pinnallista muistamista (Vosniadou 2008; DiSessa 2008). Ensimmäisten mittausten ja viivästetyn mittauksen välillä ei opetuksessa käsitelty fotosynteesiä.

### 5.3 Analyysi

Opiskelijoiden vastaukset oli pisteytetty ja pisteytyksen avulla saatua kvantitatiivista tietoa analysoitu muiden tutkijoiden toimesta (Södervik ym. 2015). Pisteytyksen yhteydessä myös vastauksien puutteita ja pisteytyksen kannalta olennaisia virhekäsityksiä oli listattu. Tätä listausta käytettiin apuna opiskelijoiden virhekäsitysten etsimisessä tämän tutkimuksen analyysin ensimmäisessä vaiheessa.

Tässä tutkimuksessa aineistoa analysoitiin laadullisin menetelmin. Laadullinen analyysi sisältää tavallisesti aineiston kuvailua, luokittelua, säännönmukaisuuksien etsimistä ja tulkittamista määriteltyjen tavoitteiden ja päämäärien perusteella (Cohen ym. 2007, s. 461) Alasuutarin (2011, s. 32) mukaan laadullisten menetelmien käyttö on tyypillistä, kun tutkimuskysymyksiin vastaaminen liittyy tarkan koasetelman ja tarkkojen hypoteesien sijaan pikemminkin arvoitusten ratkaisemiseen. Arvoituksen ratkaisemisella tässä tarkoitetaan, että aineistosta tehtyjen havaintojen perusteella tehdään merkitystulkintoja tutkittavasta ilmiöstä ja pyritään siten ymmärtämään tutkittavan kokonaisuuden rakennetta. Aineistoa tarkastellaan siitä näkökulmasta, joka on tutkimuksen kysymyksenasettelun ja sen teoreettisen viitekehyksen kannalta olennaista. Aineiston ja tutkittavan ilmiön kuvaamisesta pyritään usein kohti ilmiön selittämistä ja mahdollisesti teorioiden kehittämistä (Cohen ym. 2007, s. 462). Tässä tutkimuksessa aineiston perusteella pyrittiin vastaamaan edellä esitettyihin tutkimuskysymyksiin opiskelijoiden virhekäsityksistä, pääaine- ja sivuaineopiskelijoiden virhekäsitysten eroista ja virhekäsitysten muuttumisesta. Aineistosta tehtiin havaintoja, joiden avulla voitiin selvittää opiskelijoiden yhteyttämiseen liittyviä virhekäsityksiä sekä ymmärtää niiden olemassaoloa ja muuttumista käsitteellisen muutoksen viitekehyksessä. Havaituista virhekäsityksistä pyrittiin löytämään piirteitä,

jotka liittyvät ne sellaisiin käsitteellisiin rakenteisiin ja prosesseihin, joihin opetuksessa voidaan tehokkaasti vaikuttaa. Analyysin kulku on esitetty kuviossa 5.1.



Kuvio 5.1. Tutkimuksen analyysin vaiheet.

Laadullinen analyysi voidaan jakaa karkeasti kahteen vaiheeseen, jotka käytännössä ovat osin päällekkäisiä: havaintojen tuottamiseen ja pelkistämiseen sekä arvoituksen ratkaisemiseen eli tutkimuskysymyksiin vastaamiseen (Alasuutari 2011, s. 39). Havaintojen tuottaminen ja pelkistäminen tarkoittaa, että aineistosta tehdään kulloisenkin kysymyksenasettelun näkökulmasta havaintoja ja ne yhdistellään yhteisen piirteen perusteella yhdeksi havainnoksi tai havaintojen joukoksi. Tässä tutkimuksessa havaintojen tuottaminen ja pelkistäminen tarkoittaa fotosynteesiin liittyvien virhekäsitysten etsimistä ja tyypittelyä (Kuvio 5.1, vaiheet 1 ja 2).

Kun halutaan ymmärtää jotain kaikille havainnolle yhteistä todellisuutta, kuten käsitystä yhteyttämisestä, havaintojen tyypittely on keskeinen tapa käsitellä aineistoa (Alasuutari 2011, s. 93–94). Tyypittelyssä havainnot jaetaan niitä erottavien piirteiden perusteella luokkiin. Alasuutarin mukaan luokkien määrä pyritään rajaamaan mielekkääksi ja tarkoituksenmukaiseksi tutkimuskysymyksiin vastaamisen kannalta valitsemalla sopiva yleisyystaso. Tässä tutkimuksessa vastauksista etsittiin aluksi kaikki niissä esiintyvät virhekäsitykset ja epämääräisesti ilmaistut käsitykset (Kuvio 5.1, vaihe 1). Havainnot

pelkistettiin tyypittelemällä virhekäsitykset sen mukaan, mihin biologiseen sisältöön ja osa-alueeseen ne liittyvät (Kuvio 5.1, vaihe 2). Esimerkiksi ensisijaisesti solutason reaktioihin, rakenteisiin ravintoketjujen ekologiaan liittyvät virhekäsitykset tyypiteltiin omiin luokkiinsa. Kysymyslomakkeen (Liite 1) kysymykset oli muodostettu kattamaan fotosynteesin eri osa-alueita ja tasoja, mikä osin ohjasi luokkien muodostamista. Luokkia ei kuitenkaan muodostettu ensisijaisesti kysymysten perusteella, vaan havaittuja virhekäsityksiä tarkasteltiin kysymyksistä riippumattomina. Muodostetut luokat kuvattiin ja niistä annettiin esimerkkejä. Alasuutarin (2011, s. 40) mukaan esimerkkien avulla perustellaan eri luokkiin sijoitettujen havaintojen yhteyttä tyypittelyn perusteisiin. Virhekäsitysten yleisyys laskettiin virhekäsitysluokkien ja yksittäisten virhekäsitysten osalta. Laadullista aineistoa analysoidessa määrällisillä suhteilla kuten prosentiosuuksilla voidaan esitellä aineistoa systemaattisesti (Alasuutari 2011, s. 193). Alasuutarin mukaan määrällisten suhteiden tarkastelu voi olla myös osa tutkimuskysymyksiin vastaamisen argumentointia, jos tapauksia on riittävästi. Tässä tutkimuksessa havaintoja oli riittävästi ( $n=171$ ), joten myös määrällisten suhteiden tarkastelu osana analyysiä oli mielekäästä.

Laadullisen analyysin seuraavassa vaiheessa pelkistetyt ja tyypiteltyt havainnot muodostuvat makrohavainnoiksi, joiden avulla tehdään merkitystulkintoja tutkittavasta ilmiöstä ja vastataan tutkimuskysymyksiin (Alasuutari 2011, s. 52). Tehtyjä tulkintoja selitetään viittauksilla kirjallisuuteen sekä havainnollistetaan yksittäisillä viittauksilla aineistoon. Tässä tutkimuksessa merkitystulkintojen tekeminen tarkoittaa sitä, että tyypiteltyjen havaintojen perusteella tulkittiin opiskelijoiden virhekäsityksiä yhteyttämisestä, niiden muuttumista teksti-intervention seurauksena ja pääaine- ja sivuaineopiskelijoiden virhekäsitysten eroja (Kuvio 5.1, vaihe 3). Havaittuja virhekäsityksiä tarkasteltiin luokittain kirjallisuuteen verraten. Ennen opetustekstin lukemista ja opetustekstin lukemisen jälkeen havaittuja virhekäsityksiä vertailtiin luokittain ja luokkien sisällä. Eri tekstityyppien eroja virhekäsityksien muuttumiselle tarkasteltiin laadullisesti vain sivuaineopiskelijoiden osalta, koska selittävän ja törmäyttävän opetustekstin lukemisen havaittiin kvantitatiivisen tarkastelun perusteella vaikuttaneen nimenomaan alkutiedoiltaan heikompien sivuaineopiskelijoiden oppimiseen (Södervik ym. 2015). Viivästetyssä jälkimittauksessa havaittuja virhekäsityksiä tarkasteltiin esimerkkeinä tilanteista, joissa virhekäsitysten korjaantuminen tulkittiin pitkäaikaiseksi tai tilanteista, joissa alkuperäinen virhekäsitys palautui. Pääaineopiskelijoiden ja sivuaineopiskelijoiden virhekäsityksiä vertailtiin

luokkien sisällä sekä luokkien välillä virhekäsitysten sisällön sekä yleisyyden suhteen. Virhekäsitysluokkia tarkasteltiin myös niiden sisältämiin virhekäsityksiin liittyvien Krathwohlin (2002) kuvaamien tiedon ja ajattelutaidon tasojen suhteen. Tiedon ja ajattelutaidon tasojen erittely käytettiin apuna tutkimuskysymysten kannalta olennaisten merkitystulkintojen tekemisessä.

Virhekäsityksiä ja niiden korjaantumista analysoimalla pyrittiin ymmärtämään, minkälaiset tekijät heikentävät opiskelijoiden kokonaiskäsitystä fotosynteesistä ja sen merkityksestä. Yhdistämällä aineistosta tehdyt havainnot teoreettisen tietoon käsitteellisen muutoksen prosessista ja haasteesta pyrittiin erittelemään sellaisia opetuksellisia ja opetussuunnitelmallisia lähestymistapoja, joilla fotosynteesin oppimista voitaisiin entistä paremmin tukea ja tehostaa.

## 6 Tulokset

Opiskelijoiden ( $n=171$ ) vastauksissa havaittiin sekä selkeitä virhekäsityksiä että epämääräisiä ja puutteellisia käsityksiä, jotka tulivat esiin heidän vastatessaan fotosynteesiä koskeviin kysymyksiin (Liite 1). Puutteellisetkin käsitykset kuvastivat fotosynteesiin liittyvän tiedon puutteita ja osaamattomuutta, vaikka ne eivät välttämättä sisältäneet virheellistä tietoa; esimerkiksi ei mainittu olennaisia asioita tai ei osattu selittää kysyttyä ilmiötä. Sekä selkeät virhekäsitykset että puutteelliset käsitykset kuvastavat opiskelijan virheellisiä tai jäsentymättömiä tietorakenteita, joten niitä kuvataan ja tarkastellaan yhdessä.

Tuloksissa esitetään ensin opiskelijoiden fotosynteesiä koskevat virhekäsitykset ja puutteelliset käsitykset (Taulukko 6.1). Sitten käydään läpi tulokset koskien opiskelijoiden virhekäsitysten muuttumista opetustekstin lukemisen seurauksena suhteessa muodostettuihin viiteen virhekäsitysluokkaan. Kolmanneksi tuodaan esille havainnot biologian sivu- ja pääaineopiskelijoiden virhekäsityksiä koskevista eroista. Viimeisenä esitetään, mihin Krathwohlin (2002) kuvaamiin tiedon ja ajattelutaitojen tasoihin virhekäsitysten tunnistettiin ensisijaisesti liittyvän.

## 6.1 Opiskelijoilla havaitut virhekäsitykset

Yhteensä opiskelijoilla havaittiin 58 selkeää virhekäsitystä ja 14 puutteellista käsitystä (Taulukko 6.1). Suurin osa näistä havaittiin esimittauksessa ennen opetustekstin lukemista. Lisäksi opetustekstin lukemisen jälkeen suoritetuissa jälkimittauksessa ja viivästetyssä jälkimittauksessa havaittiin yhteensä viisi selkeää virhekäsitystä, joita ei havaittu esimittauksessa.

Virhekäsitykset ja puutteelliset käsitykset ( $n=72$ ) tyypiteltiin neljään eri luokkaan, jotka eroavat toisistaan biologisen asiayhteyden (esim. fysiologia, ekologia) ja biologisen organisaatiotason (esim. solu, yksilö, ekosysteemi) suhteen (Taulukko 6.1). Ensimmäisessä luokassa virhekäsitykset liittyvät fotosynteesireaktioon ja solun fysiologiaan. Toisessa luokassa virhekäsitykset liittyvät kasvien anatomiaan ja solujen rakenteeseen. Kolmannessa luokassa virhekäsitykset liittyvät kasviyksilön energiantuotantoon ja varastoimiseen. Neljännessä luokassa virhekäsitykset liittyvä fotosynteesin ekologiseen merkitykseen lähinnä ravintoketju- ja ekosysteemitasolla.

Kysymyslomakkeen kysymykset (Liite 1) olivat sikäli yhteneviä muodostettujen virhekäsitysluokkien kanssa, että suurin osa kunkin kysymyksen vastauksissa ilmenneistä virhekäsityksistä tyypiteltiin samaan luokkaan. Tämä on seurausta siitä, että kysymykset itsessään kohdistuivat fotosynteesin erilaisiin osa-alueisiin ja ulottuvuuksiin. Luokkia ei kuitenkaan muodostettu kysymysten, vaan virhekäsitysten sisällön perusteella. Useat virhekäsitykset ilmenivät vastauksissa eri kysymyksiin.

<b>Virhekäsitysluokka</b>	<b>Selkeät virhekäsitykset</b>	<b>Epämääräiset ja puutteelliset käsitykset</b>
1. Fotosynteesireaktioon liittyvät virhekäsitykset	8	5
2. Kasvin rakenteisiin liittyvät virhekäsitykset	25	2
3. Kasvin energiatalouteen liittyvät virhekäsitykset	6	3
4. Fotosynteesin ekologiseen merkitykseen liittyvät virhekäsitykset	19	4

Taulukko 6.1. Virhekäsitysten ja epämääräisten tai puutteellisten käsitysten määrä virhekäsitysluokittain.

Seuraavaksi virhekäsityksiä kuvataan neljän muodostetun luokan sisällä. Kunkin luokan kohdalla esitetään taulukossa osin ryhmiteltyinä keskeisimmät virhekäsitykset ja puutteelliset käsitykset. Taulukoissa (6.2–6.5) on esitetty myös virhekäsityksien yleisyydet pääaineopiskelijoilla ( $n=46$ ) ja sivuaineopiskelijoilla ( $n=125$ ) esittämissä ennen opetustekstin lukemista. Niiden virhekäsitysten kohdalla, jotka havaittiin vasta opetustekstin lukemisen jälkeen, prosenttiluku kuvaa jälkimittauksen tilannetta. Tarkempi lista virhekäsityksistä on liitteenä (Liite 2).

### *Luokka 1: Fotosynteesireaktioon liittyvät virhekäsitykset*

Fotosynteesireaktioon liittyvät virhekäsitykset ilmenivät vastauksissa kysymykseen yksi ("Mitä on yhteyttäminen?"). Fotosynteesi tuli osata kuvata reaktiona, jossa hiilidioksidista ja vedestä muodostuu Auringon valoenergian avulla glukoosi-sokeria ja happea.

Yksittäisiä fotosynteesireaktioon liittyviä virhekäsityksiä olivat väärän lähtöaineen tai tuotteen mainitseminen tai auringon energian tai jonkin reaktion aineen mainitsematta jättäminen (Taulukko 6.2; Liite 2). Yleisimmin näissä virhekäsityksissä mainittiin hiilidioksidi tai vesi fotosynteesin tuotteena. Myös sokeri ja ravinteet mainittiin fotosynteesin lähtöaineena.

Viisi prosenttia sivuaineopiskelijoista yhdisti yhteyttäamisen energiaa tuottaviin prosesseihin, mutta täysin virheellisesti. Näissä vastauksissa yhteyttäminen sekoitettiin vaihtelevilla tavoilla soluhengitykseen ja energian vapauttamiseen sokerista, kuten seuraavat otteet osoittavat:

*"kemiallinen energia muuttuu valoenergian avulla kasvin aineenvaihdunnan tarvitsemaksi energiaksi"* Opiskelija 16

*"Yhteyttämisessä valo muutetaan soluhengityksen avulla hapeksi."* Opiskelija 23

Yhden sivuaineopiskelijan vastauksessa korostui selvästi hapen merkitys. Hän kuitenkin osoitti toisessa kohtaa ymmärtävänsä kasvin myös saavan auringosta energiaa. Pääaineopiskelijoilla oli fotosynteesireaktioon liittyviä virhekäsityksiä sivuaineopiskelijoita vähemmän. Kukaan pääaineopiskelijoista ei sekoittanut yhteyttämistä soluhengitykseen ja energian vapauttamiseen sokerista.

Virhekäsitys / puutteellinen käsitys	Pääaineopiskelijat	Sivuaineopiskelijat
yhteyttäminen yhdistetään energiatalouteen virheellisesti		5 %
hiilidioksidi, vesi tai happi virheellisesti lähtöaineena tai tuotteena	7 %	7 %
sokeri reaktion lähtöaineena		1,5 %
ravinteet reaktion lähtöaineena		1 %
fotosynteesin lähtöaine tai tuote tai Auringon energia mainitsematta	30 %	41 %
<b>yhteensä</b>	<b>30 %</b>	<b>47 %</b>

Taulukko 6.2. Luokan 1 virhekäsitykset ja niiden yleisyys pääaineopiskelijoilla ( $n=46$ ) ja sivuaineopiskelijoilla ( $n=125$ ) opiskelijoilla esimittauksessa.

### *Luokka 2: Kasvin rakenteisiin liittyvät virhekäsitykset*

Kasvin rakenteisiin liittyvät virhekäsitykset ja epämääräiset käsitykset ilmenivät pääosin vastauksissa kysymyksiin kaksi ("Missä soluelimessä fotosynteesi tapahtuu?") ja kuusi ("Mikä tehtäviä ilmaraoilla on kasvissa?"). Tämän luokan virhekäsityksille oli tyypillistä, että ne liittyivät fotosynteesireaktion sijaintiin kasvissa sekä ilmarakojen toimintaan (Taulukko 6.3).

Yleisimmät fotosynteesireaktion sijaintiin liittyvät virheelliset vastaukset olivat, että fotosynteesin tapahtuu viherhiukkasen sijaan mitokondriossa, lehtivihreässä tai klorofyllissä. Muita virheellisiä vastauksia olivat muun muassa, että fotosynteesi tapahtuu viherhiukkasissa eli klorofylleistä (viherhiukkanen eli kloroplasti), tumassa, solukalvossa ja solulimassa (Liite 2).

Opiskelijoilla havaittiin lukuisia ilmarakoihin liittyen lukuisia selkeitä virhekäsityksiä (Liite 2). Yleisin virhekäsitys oli, että kasvit ottavat happea ilmaraoillaan. Usea opiskelija vastasi myös, että kasvit hengittävät ilmaraoillaan, ilmaraoista poistuu hiilidioksidia tai että ilmarakoja tarvitaan soluhengityksessä. Yksittäisiä virhekäsityksiä olivat, että ilmaraoit estävät kasvia jäätyästä, ilmaraoit kuljettavat ravinteita, ilmaraoit ylläpitävät kasvin rakennetta, ilmaraoilla otetaan auringonvaloa, ilmaraoit varastoivat hiilidioksidia ja ilmaraoit kuljettavat vettä kasvin eri osiin.

Ilmarakojen toimintaa koskevista puutteellisista käsityksistä yleisin oli jättää haihdutus tai kaasujenvaihto mainitsematta ilmarakojen tehtävänä. Sellaisissa vastauksissa, joissa

mainittiin kaasujenvaihto mutta vain toinen kaasuista, oli yleisempää jättää mainitsematta happi kuin hiilidioksidi.

Pääaineopiskelijoilla oli lähes kaikkia kasvien rakenteisiin liittyviä virhekäsityksiä ja puutteellisia käsityksiä vähemmän kuin sivuaineopiskelijoilla.

<b>Virhekäsitys / puutteellinen käsitys</b>	<b>Pääaine- opiskelijat</b>	<b>Sivuaine- opiskelijat</b>
fotosynteesin sijainti kasvilla väärin	13 %	25 %
virheellinen tai puutteellinen käsitys ilmarakojen toiminnasta	35 %	68 %
haihdutusta ei mainita ilmarakojen tehtäväksi	11 %	44 %
kaasujenvaihtoa ei mainita ilmarakojen tehtäväksi	9 %	21 %
<b>yhteensä</b>	<b>41 %</b>	<b>71 %</b>

Taulukko 6.3. Luokan 2 virhekäsitykset ja niiden yleisyys pääaineopiskelijoilla ( $n=46$ ) ja sivuaineopiskelijoilla ( $n=125$ ) opiskelijoilla esimittauksessa.

### *Luokka 3: Kasvien energiatalouteen liittyvät virhekäsitykset*

Kasvien energiatalouteen liittyvät virhekäsitykset ilmenivät vastauksista kysymyksiin yksi ("Mitä on yhteyttäminen?"), neljä ("Kun syöt lounaalla salaattia, perunaa ja lihaa, saat käyttöön energiaa. Miten energia on päätynyt a) salaattiin b) perunaan c) lihaan?") ja seitsemän ("Selitä, mikä on kasvin rooli ravintoketjussa"). Esimittauksessa yhteensä lähes kolmasosalla sivuaineopiskelijoista oli kasvin energiatalouteen liittyviä virhekäsityksiä (Taulukko 6.4). Pääaine-opiskelijoilla ei havaittu tähän luokkaan kuuluvia virhekäsityksiä.

Kaikki sivuaineopiskelijat eivät osanneet yhdistää yhteyttämistä energiantuotantoon edes virheellisesti (Taulukko 6.4). Esimittauksessa kolme sivuaineopiskelijaa piti yhteyttämistä kasvien lisääntymisenä. Jokainen heistä kuitenkin mainitsi toisen kysymyksen vastauksessa salaatin saavan energiaa auringonvalosta, joskin kaksi mainitsi kasvin ottavan energiaa myös juurillaan maaperästä.

Käsitys energian saamisesta maaperän ravinteista tai vedestä oli kasvin energiatalouteen liittyviä selkeistä virhekäsityksistä yleisin (Taulukko 6.4). Moni näin vastanneista sivuaineopiskelijoista mainitsi energianlähteenä myös Auringon energian yhteyttämisestä kysyttäessä. Yksittäisiä virhekäsityksiä olivat energian tuottaminen



muuttamalla valo tai hiilidioksidi hapeksi, energian sitoutuminen viherhiukkasiin ja energian siirtyminen kasviin proteiinisynteesissä (Liite 2).

Kasvien energiatalouteen liittyvät puutteelliset käsitykset liittyivät kasvin energiansaantiin ja energian muuttumiseen kemialliseen muotoon. Sivuaineopiskelijoista 11 % ei osannut kuvata missään kysymyksessä yhteyttämisreaktiota niin hyvin, että heidän voi olettaa ymmärtäneen auringonvalon energian muuttumisen kasvin sokerin energiaksi.

<b>Virhekäsitys / puutteellinen käsitys</b>	<b>Pääaineopiskelijat</b>	<b>Sivuaineopiskelijat</b>
yhteyttäminen on kasvien lisääntymistä		2,5 %
ei tietoa, mitä yhteyttäminen on		1 %
ei kuvannut auringonvalon energian muuttumista kasvin sokerin energiaksi		11 %
kasvit saavat energiaa maaperän ravinteista tai vedestä		13,5 %
energiaa tuotetaan muuttamalla hiilidioksidi hapeksi		1 %
energiaa sitoutuu viherhiukkasiin		1 %
kasvin energia glukoosista/soluhengityksestä		4 %
auringon energia siirtyy kasviin proteiinisynteesissä		1 %
ei vastattu kysymykseen salaatin energiasta		2,5 %
<b>yhteensä</b>	<b>0 %</b>	<b>30 %</b>

Taulukko 6.4. Luokan 3 virhekäsitykset ja niiden yleisyys pääaineopiskelijoilla ( $n=46$ ) ja sivuaineopiskelijoilla ( $n=125$ ) opiskelijoilla esimittauksessa.

#### *Luokka 4: Fotosynteesin ekologiseen merkitykseen ja ravintoketjuun liittyvät virhekäsitykset*

Fotosynteesin ekologiseen merkitykseen ja energian ohivirtaukseen liittyviä virhekäsitykset ilmenivät vastauksissa kysymyksiin ravinnon merkityksestä, kasvien ja lihan energiasta, ravinnontuotannon haasteista, kasvin roolista ravintoketjussa sekä ravintopyramidin kapenemisesta (kysymykset 3,4,5,7,8; Liite 2). Fotosynteesin ekologiseen merkitykseen ja ravintoketjuun liittyvät virhekäsitykset koskivat ekologian perusteita: kasvien ja yhteyttämismerkitystä ravintoketjuille, ravinnon merkitystä eliöille ja energian virtausta ravintoketjuissa (Taulukko 6.5).

Suurin osa sivuaineopiskelijoista ja kaikki pääaineopiskelijat ymmärsivät kasveja kutsuttavan tuottajiksi niiden ravintoketjun tuottaman energian vuoksi. Sivuaineopiskelijoista 6 % selitti kasvien roolin ravintoketjussa puutteellisesti tai

määritteli roolin tuottajaksi, mutta ei selittänyt vastauksissaan yhteyttämisen periaatetta. Puutteellisissa vastauksissa keskityttiin useimmiten kasvien käyttämiseen ravintona, mutta ei huomioitu niiden merkitystä energia tuottajina:

*”Kasvit ovat useiden lajien pääravintoa, mikä tekee kasvien roolin ravintoketjussa erittäin tärkeäksi.”* Opiskelija 167

Kolme sivuaineopiskelijaa ei liittänyt yhteyttämistä millään tavalla energiantuotantoon, mutta jokainen piti kasveja ravintoketjujen energian lähteenä.

*”Yhteyttäminen on kasvien lisääntymistä. – – Se on alimpana pohjalla. Kaikki saa energiansa loppujen lopuksi kasveista.”* Opiskelija 162

Muita kasvien merkitykseen liittyviä yksittäisiä virhekäsityksiä olivat, että yhteyttämällä tuotetaan ravinteita, kasvit tuottavat ravintoketjussa proteiineja ja että ilman kasveja ei olisi elämää (Liite 2).

Lähes kaikki opiskelijat vastasivat energian päätyneen lihaan eläimen ravinnosta. Lihan energian alkuperän ja auringonvalon yhteys oli kuitenkin epämääräinen sivuaineopiskelijoista 10 % vastauksissa. Suurin osa heistä ei selittänyt tyydyttävästi Auringon valoenergian sitoutumista sokeriksi, vaikka mainitsikin yhteyttämisen. Muutama opiskelija keskittyi vastauksessaan energian varastointiin ja varastointimuotoihin eikä liittänyt yhteyttämistä mitenkään eläinten ravinnonsaantiin. Selkeitä eläinten energian saantiin ja varastoimiseen liittyviä virhekäsityksiä olivat, että eläimet käyttävän ravinteita eivätkä ravintoa energian saamiseksi, eläimet varastoivat energiaa lihaksiin ja että lihan energia on peräisin proteiinisynteesisistä eikä soluhengityksessä vapautetun energian varastoimisesta. (Liite 2).

Ravintoketjuissa tapahtuva energian virtaus ja ohivirtaus osoittautui yleisesti heikosti ymmärretyksi (Taulukko 6.6). Ohivirtauksen periaate (kaikki eliön käyttämän ravinnon energia ei varastoidu eliöön ja ole ravintoketjun seuraavan tason käytettävissä vaan suuri osa energiasta kuluu elintoimintoihin ja esimerkiksi liikkumiseen) selitettiin paremmin kysyttäessä syytä ravintopyramidin kapenemiselle (kysymys 8) kuin kysyttäessä syytä lihantuotannon tehottomuudelle ravinnontuotannossa (kysymys 5). Neljä pääaineopiskelijaa ja 16 sivuaineopiskelijaa perustelivat ravintopyramidin kapenemista ohivirtauksen käsitteellä, mutta vastasivat puutteellisesti kysymykseen lihantuotannon tehokkuudesta.

Yleisimmät virheelliset tavat selittää ravintopyramidin kapenemista ja lihantuotannolta vaadittavaa kasvinviljelyä suurempaa peltoalaa olivat yksioikoiset päätelmät kasvien ja kasvinsyöjien suuresta määrästä ylempiin kuluttajiin verrattuna tai lihantuotannon vaatimasta suuresta pelto-alasta.

*”Kasveja on maapallolla eniten, sitten kasvinsyöjiä ja petoja vähiten”* Opiskelija 11

*”Lihakarjan laiduntaminen vaatii entistä enemmän laidunmaata.”* Opiskelija 45

Muut yleiset selitystavat ravintopyramidin kapenemiselle liittyivät erilaisen ravinnon vaihteleviin energiamääriin tai lajien väliseen ekologiaan. Vastauksissa ravintoketjun ylempien tasojen eliöiden oletettiin tarvitsevan enemmän ravintoa, tai ylemmillä tasoilla oletettiin olevan enemmän kilpailua alempiin verrattuna. Vastauksissa puhuttiin esimerkiksi ”energian hyötysuhteen huononemista” (opiskelija 49) ja ”energeettisestä taloudellisuudesta” (opiskelija 61) tai kasvien suuresta määrästä kasvinsyöjiin ja edelleen petoihin nähden.

Monet opiskelijoista viittasivat vastauksessaan suoraan epäsuorasti energian ohivirtaukseen, mutta eivät selvästi ymmärtäneet sen periaatetta tai energian ja ravinnon yhteyttä.

*”Liha on peräisin eläimistä, jotka ovat riippuvaisia energiantuotannoltaan omavaraisista kasveista. Eläimet tarvitsevat siis paljon energiaa, ravintoaineita ja vettä, mikä ei ole energeettisesti taloudellista”* Opiskelija 61

Ohivirtaukseen syyt jätettiin useimmiten selittämättä. Syihin liittyviä virhekäsityksiä olivat, että suurin osa ravinnon energiasta ei vapaudu kuluttajan käyttöön tai menee hukkaan, toisenvaraiset eliöt sisältävät vähemmän energiaa kuin omavaraiset eliöt, ylemmillä tasoilla ohivirtaus pienenee, energia huononee ravintoketjussa ja että ohivirtaus aiheutuu siitä, että eläin syö vain osan kasvista (Liite 2). Yksi sivuaineopiskelija vastasi energian kiertävän trofiatasojen välillä kasveista kuluttajiin.

Sekä luokan 3 että luokan 4 puutteellisissa käsityksissä tuli esiin vaikeus ymmärtää auringonvalon sitoutuminen kasveihin ja edelleen kasvien ekologisen merkityksen kautta ravintoketjuihin. Tarkastelemalla kaikkia edellä mainittuun energian virtaukseen liittyviä puutteellisia käsityksiä havaittiin, että yhteensä 18 % sivuaineopiskelijoista selitti puutteellisesti joko auringonvalon sitoutumisen kasveihin, kasvien roolin ravintoketjussa tai lihan energian alkuperän.

<b>Virhekäsitys / puutteellinen käsitys</b>	<b>Pääaine- opiskelijat</b>	<b>Sivuaine- opiskelijat</b>
kasvin rooli ravintoketjussa selitettiin puutteellisesti		6 %
kasvin rooliin ravintoketjussa liittyviä virhekäsityksiä		5 %
lihan energian ja auringonvalon välinen yhteys epäselvä		10 %
lihan energiansaantiin liittyviä virhekäsityksiä		5 %
energian ohivirtauksen periaatetta ei ymmärretty	13 %	40 %
energian ohivirtaukseen liittyviä virhekäsityksiä	7 %	15 %
energia kiertää ekosysteemissä		jälkimittaus huomioiden yhteensä 3 %
<b>yhteensä</b>	<b>35 %</b>	<b>62,5 %</b>

Taulukko 6.5. Luokan 4 virhekäsitykset ja niiden yleisyys pääaineopiskelijoilla ( $n=46$ ) ja sivuaineopiskelijoilla ( $n=125$ ) esimittauksessa.

## 6.2 Virhekäsitysten muuttuminen opetustekstin lukemisen jälkeen

Opetustekstin lukemisen jälkeen jälkimittauksen ja viivästetyn jälkimittauksen vastauksissa havaittuja virhekäsityksiä analysoitiin suhteessa muodostettuihin virhekäsitysluokkiin. Analyysi osoitti, että virhekäsitykset vähenivät kaikissa luokissa, mutta monenlaisia virhekäsityksiä ja puutteellisia käsityksiä säilyi tai korjaantui vain osittain. Seuraavaksi esitellään tulokset tarkemmin koskien jälkimittauksessa havaittuja virhekäsityksiä ja niiden yleisyyttä. Sitten käydään läpi viivästetyssä jälkimittauksessa havaitut virhekäsitykset. Osallistujamäärän vähenemisen vuoksi niiden yleisyyttä ei ole laskettu. Lopuksi esitellään törmäyttävän ja selittävän opetustekstin vaikutusten laadullisen analyysin tulokset.

### 6.2.1 Jälkimittaus – virhekäsitysten väheneminen

Heti opetustekstin lukemisen jälkeen suoritetulla jälkimittauksella kerätyssä aineistossa havaittiin yhteensä 36 selkeää virhekäsitystä ja 11 epämääräistä ja puutteellista käsitystä, kun niitä ennen opetustekstiä havaittiin 58 ja 14. Virhekäsitykset vähenivät esimittaukseen verrattuna kaikissa luokissa sekä pää- että sivuaineopiskelijoilla (Taulukko 6.6). Seuraavaksi kuvataan luokittain heti opetustekstin jälkeen havaittuja virhekäsityksiä ja puutteellisia käsityksiä ja niiden yleisyyttä verrataan esimittaukseen.

	Esimittaus: pääaine- opiskelijat	Esimittaus: sivuaine- opiskelijat	Jälkimittaus: pääaine- opiskelijat	Jälkimittaus: sivuaine- opiskelijat
<b>Luokka 1.</b> Fotosynteesireaktioon liittyvät virhekäsitykset	30 %	47 %	26 %	40 %
<b>Luokka 2.</b> Kasvin rakenteisiin liittyvät virhekäsitykset	41 %	71 %	35 %	66 %
<b>Luokka 3.</b> Kasvin energiatalouteen liittyvät virhekäsitykset	0 %	30 %	0 %	23 %
<b>Luokka 4.</b> Fotosynteesin ekologiseen merkitykseen liittyvät virhekäsitykset	35 %	62 %	7 %	22 %

Taulukko 6.6. Pääaine- ja sivuaineopiskelijoiden virhekäsitykset ja puutteelliset käsitykset luokittain esimittauksessa ja jälkimittauksessa.

#### *Luokka 1: Fotosynteesireaktioon liittyvät virhekäsitykset*

Jälkimittauksessa kaikki sivuaineopiskelijat, jotka olivat esimittauksessa sekoittaneet yhteyttämisen soluhengitykseen tai vastanneet muuten täysin väärin, korjasivat vastauksiaan (Taulukko 6.7). Yksi sivuaineopiskelija oli säilyttänyt vanhan vastauksensa valon muuttamisesta soluhengityksen avulla hapeksi, mutta täydentänyt sitä oikealla vastauksella. Yleistä oli, että yhteyttämisen periaate suunnilleen ymmärrettiin, vaikka tarkkaa reaktiota ei kuvattukaan:

*”Kasvi käyttää auringonvaloa tai epäorgaanisia aineita muodostaakseen sokeria, eli energiaa.”* Opiskelija 60.

Sivuaineopiskelijoista fotosynteesireaktiossa väärän aineen maininneita oli jälkimittauksessa vähemmän kuin esimittauksessa. Yksikään opiskelija ei enää jälkimittauksessa maininnut sokeria fotosynteesin raaka-aineena. Ravinteet mainitsi jälkimittauksessa yksi sivuaineopiskelija enemmän kuin esimittauksessa. Niiden opiskelijoiden määrä, jotka jättivät jonkin fotosynteesin lähtöaineen, tuotteen tai auringon energian mainitsematta säilyi lähes samana kuin ennen opetustekstin lukemista. Moni vastaaja lisäsi vastaukseensa maininnan kemosynteesistä vaihtoehtoisena yhteyttämisreaktiona fotosynteesille.

Virhekäsitys / puutteellinen käsitys	Pääaineop. ennen	Sivuaineop. ennen	Pääaineop. jälkeen	Sivuaineop. jälkeen
yhteyttäminen yhdistetään energiatalouteen virheellisesti		5 %		
hiilidioksidi, vesi tai happi virheellisesti lähtöaineena tai tuotteena	7 %	7 %	7 %	2 %
sokeri reaktion lähtöaineena		1,5 %		
lähtöaineena ravinteet		1 %		1,5 %
lähtöaineena sokeri		1,5 %		
fotosynteesin lähtöaine tai tuote tai Auringon energia mainitsematta	30 %	41 %	26 %	40 %
yhteensä	30 %	47 %	26 %	40 %

Taulukko 6.7. Luokan 1 virhekäsitysten muuttuminen opetustekstin lukemisen seurauksena.

### *Luokka 2: Kasvin rakenteisiin liittyvät virhekäsitykset*

Kasvin rakenteisiin liittyvät virhekäsitykset tai puutteelliset käsitykset yhteensä vähenivät hieman opetustekstin lukemisen seurauksena (Taulukko 6.8). Lähes kaikki fotosynteesin sijaintiin liittyvät virhekäsitykset olivat vähentyneet. Kuten esimittauksessakin, yleisimmät virhekäsitykset jälkimittauksessa olivat, että fotosynteesi tapahtuu mitokondriossa, lehtivihreässä tai klorofyllissä.

Myös ilmarakojen toimintaan liittyvät virhekäsitykset ja puutteelliset käsitykset vähenivät. Yleisin selkeä virhekäsitys oli myös jälkimittauksessa, että kasvit ottavat happea ilmaraoillaan. Aiemmat virhekäsitykset, joiden mukaan kasvit hengittävät ilmaraoillaan, ilmarakoja tarvitaan soluhengityksessä ja ilmaraoista poistuu hiilidioksidia, olivat jälkimittauksessa korjaantuneet osalla opiskelijoista. Lähes kaikki yksittäiset virhekäsitykset, joissa ilmarakojen toiminnan perusteita ei ollut ymmärretty, olivat poistuneet. Yhdellä opiskelijalla oli jälkimittauksessa virhekäsitys, jonka mukaan fotosynteesi tapahtuu ilmarakojen kautta. Selvästi useampi opiskelija mainitsi kaasujenvaihdon ilmarakojen tehtäväksi kuin esimittauksessa. Sen sijaan haihdutuksen jätti mainitsematta opetustekstin lukemisen jälkeen useampi pääaineopiskelija ja sivuaineopiskelija kuin esimittauksessa.

<b>Virhekäsitys / puutteellinen käsitys</b>	<b>Pääaineop. ennen</b>	<b>Sivuaineop. ennen</b>	<b>Pääaineop. jälkeen</b>	<b>Sivuaineop. jälkeen</b>
fotosynteesin sijainti kasvissa väärin	13 %	25 %	9 %	14 %
virheellinen tai puutteellinen käsitys ilmarakojen toiminnasta	35 %	68 %	28 %	62 %
haihdutusta ei mainita ilmarakojen tehtäväksi	11 %	44 %	15 %	53 %
kaasujenvaihtoa ei mainita ilmarakojen tehtäväksi	9 %	21 %	4 %	2 %
yhteensä	41 %	71 %	35 %	66 %

Taulukko 6.8. Luokan 2 virhekäsitysten muuttuminen opetustekstin lukemisen seurauksena.

### *Luokka 3: Kasvien energiatalouteen liittyvät virhekäsitykset*

Jälkimittauksessa kasvin energiatalouteen liittyvät sivuaineopiskelijoiden virhekäsitykset vähentyivät (Taulukko 6.9). Pääaineopiskelijoilla ei esimittauksen tavoin havaittu tähän luokkaan kuuluvia virhekäsityksiä. Myös kaikki sivuaineopiskelijat liittivät opetustekstin lukemisen jälkeen yhteyttämisen jollain tavalla kasvien energiansaantiin, eikä kukaan vastannut esimittauksen tavoin yhteyttämisen olevan kasvien lisääntymistä.

Luokan yleisin selkeä virhekäsitys maaperän ravinteista tai vedestä kasvien energianlähteenä oli korjaantunut usealla sivuaineopiskelijalla, vaikka säilyi edelleen monella. Yhdellä sivuaineopiskelijalla tämä virhekäsitys oli jälkimittauksessa ensimmäisen kerran. Yhtä lukuun ottamatta nämä virheellisesti vastanneet sivuaineopiskelijat ymmärsivät kasvin saavan energiaa yhteyttämisestä. Yksittäisistä virhekäsityksistä jälkimittauksessa oli säilynyt sivuaineopiskelijan käsitys, että energia on kasvissa viherhiukkasina.

Sivuaineopiskelijoista 8 % ei osoittanut vastauksissaan ymmärtävänsä valoenergian sitomista, mikä oli hieman vähemmän kuin esimittauksessa.

Virhekäsitys / puutteellinen käsitys	Pääaineop. ennen	Sivuaineop. ennen	Pääaineop. jälkeen	Sivuaineop. jälkeen
yhteyttäminen on kasvien lisääntymistä		2,5 %		
ei tietoa, mitä yhteyttäminen on		1 %		
ei kuvannut auringonvalon energian muuttumista kasvin sokerin energiaksi		11 %		8 %
kasvit saavat energiaa maaperän ravinteista tai vedestä		13,5 %		9,6 %
energiaa tuotetaan muuttamalla hiilidioksidi hapeksi		1 %		
energiaa sitoutuu viherhiukkasiin		1 %		1 %
kasvin energia glukoosista/soluhengityksestä		4 %		
auringon energia siirtyy kasviin proteiinisynteesissä		1 %		
ei vastattu kysymykseen salaatin energiasta		2,5 %		1 %
yhteensä	0 %	30 %	0 %	24 %

Taulukko 6.9. Luokan 3 virhekäsitysten muuttuminen opetustekstin lukemisen seurauksena.

#### *Luokka 4: Fotosynteesin ekologiseen merkitykseen ja ravintoketjuun liittyvät virhekäsitykset*

Jälkimittauksessa fotosynteesin ekologiseen merkitykseen ja ravintoketjun toimintaan liittyvät virhekäsitykset olivat vähentyneet huomattavasti (Taulukko 6.10). Virhekäsitykset olivat vähentyneet pääaineopiskelijoilla 81 % ja sivuaineopiskelijoilla 65 %. Eniten vähenivät energian ohivirtaukseen liittyvät virhekäsitykset, mutta myös kasvien rooliin ravintoketjussa ja lihan energian alkuperään liittyvät virhekäsitykset vähenivät.

Sivuaineopiskelijoista 2,5 % selitti jälkimittauksessa kasvien roolin ravintoketjussa puutteellisesti, kun esimittauksessa vastaava osuus oli 6 %. Kasvin roolia koskeneet parantuneet vastauksetkaan eivät olleet täydellisiä, mutta useimpien perusteella opiskelijan saattoi olettaa ymmärtäneen yhteyttämissen ja ravintoketjujen energian yhteyden.

Esimittaus: ”[Yhteyttäminen on] kasvien lisääntymistä. – – [Kasvien tehtävä on] toimia ravintona kasvinsyöjille.” Opiskelija 158



Jälkimittaus: ”[Yhteyttäminen on] sitä kun kasvi muuttaa auringonvaloa energiakseen –  
– [Kasvien tehtävä on] toimia ravintona kasvinsyöjille + sitä ennen tuottaa energiaa”  
Opiskelija 158

Jälkimittauksessa lihan energian alkuperää koskevat puutteelliset vastaukset ja virhekäsitykset korjaantuivat joillakin sivuaineopiskelijoilla (kysymys 4). Ymmärryksen puutteet ilmenivät kuten esimittauksessakin: moni vastasi eläimen saavan energiaa ravinnosta, mutta kasvin energian alkuperä jäi puutteellisesti selitetyksi.

Jälkimittauksessa energian ohivirtaukseen, ravintopyramidin kapenemiseen ja lihantuotannon vaatimaan suureen peltoalaan liittyvät virhekäsitykset ja puutteellinen tieto vähenivät erityisesti sivuaineopiskelijoilla (Taulukko 6.10). Kuten esimittauksessakin, ohivirtauksen selitettiin paremmin kysyttäessä syytä ravintopyramidin kapenemiselle (kysymys 8) kuin kysyttäessä syytä lihantuotannon tehottomuudelle ravinnontuotannossa (kysymys 5). Kuusi pääaineopiskelijaa ja 26 sivuaineopiskelijaa perusteli ohivirtauksen käsitteellä ravintopyramidin kapenemista, mutta vastasi puutteellisesti kysymykseen lihantuotannon tehokkuudesta. Esimerkiksi yksi sivuaineopiskelija selitti ravintopyramidin kapenemisen täydellisesti energian ohivirtauksella ja sen syillä, mutta vastasi kysymykseen lihantuotannon haasteista ravinnontuotannolle seuraavasti:

”Naudat joiden lihaa ihmiset pääosin syövät ovat kasvissyöjiä. Ne tarvitsevat paljon laiduntilaa. Väestö kasvaa koko ajan → laiduntilaa tarvitaan lisää. Maapallolta loppuu laiduntamiseen soveltuva maa ja jatkuva laiduntaminen köyhdyttää maata.” Opiskelija 82

Virheelliset selitykset lihantuotannon tehottomuuteen ja ravintopyramidin kapenemiseen olivat jälkimittauksessa samankaltaisia kuin esimittauksessa. Monet opiskelijat säilyttivät esimittauksen virheelliset vastauksensa, vaikka jälkimittauksessa lisäsivät oikeansuuntaisen vastauksen:

Esimittaus: ”[Ravintopyramidi kapenee,] koska alemmaa ryhmää tarvitaan enemmän ylemmän ryhmän energian tuottamiseen.” Opiskelija 52

Jälkimittaus: ”[edellisen lisäksi] + energiaa poistuu ravintoketjusta” Opiskelija 52

Esimittaus: ”keskitytään enempi energisiin tuotteisiin, niitä ei tarvitse syödä niin paljon”  
Opiskelija 23

Jälkimittaus: ”[edellisen lisäksi] + energiaa vähenee matkalla, joten lähtöaineita tarvitaan enemmän” Opiskelija 23

Ohivirtauksen syihin liittyviä yksittäisiä virhekäsityksiä ilmeni myös jälkimittauksessa. Esimittauksessa ilmenneistä virhekäsityksistä säilyivät käsitykset, että osa ravinnon energiasta menee hukkaan, toisenvaraiset eliöt sisältävät vähemmän energiaa kuin omavaraiset eliöt, energia huononee ravintoketjussa ja ohivirtaus aiheutuu siitä, että eläin syö vain osan kasvista. Kolmella sivuaineopiskelijalla oli virhekäsitys, että energia kiertää ravintoketjussa, mikä oli kaksi opiskelijaa enemmän kuin esimittauksessa.

<b>Virhekäsitys / puutteellinen käsitys</b>	<b>Pääaineop. ennen</b>	<b>Sivuaineop. ennen</b>	<b>Pääaineop. jälkeen</b>	<b>Sivuaineop. jälkeen</b>
kasvin rooli ravintoketjussa selitettiin puutteellisesti		6 %		2,5 %
kasvin rooliin ravintoketjussa liittyviä virhekäsityksiä		5 %		5 %
lihan energian ja auringonvalon välinen yhteys epäselvä		10 %		9 %
lihan energiansaantiin liittyviä virhekäsityksiä		5 %		4 %
energian ohivirtauksen periaatetta ei ymmärretty	13 %	40 %	9 %	13 %
energian ohivirtaukseen liittyviä virhekäsityksiä	7 %	15 %	4 %	2,5 %
energia kiertää ekosysteemissä		1 %		2,5 %
<b>yhteensä</b>	<b>35 %</b>	<b>62,5 %</b>	<b>7 %</b>	<b>22 %</b>

Taulukko 6.10. Luokan 4 virhekäsitysten muuttuminen opetustekstin lukemisen seurauksena.

### 6.2.2 Viivästetty jälkimittaus – virhekäsitysten säilyminen ja uusiutuminen

Kaksi viikkoa opetustekstin lukemisen jälkeen suoritetussa viivästetyssä jälkimittauksessa havaittiin yhteensä 15 selkeää virhekäsitystä ja 6 epämääräistä ja puutteellista käsitystä. Näistä suurin osa havaittiin sivuaineopiskelijoiden vastauksissa (Taulukko 6.11). Viivästetyssä jälkimittauksessa esiintyneet virhekäsitykset ja puutteelliset käsitykset olivat samoja kuin esimittauksessa ja jälkimittauksessa esiintyneet. Useita virhekäsityksiä ilmeni kuitenkin sellaisilla opiskelijoilla, jotka aiemmissa mittauksissa olivat vastanneet oikein. Seuraavaksi viivästetyssä jälkimittauksessa havaittuja virhekäsityksiä esitellään luokittain verraten niitä kyseisillä opiskelijoilla aiemmissa mittauksissa havaittuihin virhekäsityksiin.

Virhekäsitysluokka	Selkeät virhekäsitykset	Epämääräiset ja puutteelliset käsitykset
1. Fotosynteesireaktioon liittyvät virhekäsitykset	pääaine: 1 sivuaine: 2	sivuaine: 1
2. Kasvin rakenteisiin liittyvät virhekäsitykset	pääaine: 2 sivuaine: 7	pääaine: 2 sivuaine: 2
3. Kasvin energiatalouteen liittyvät virhekäsitykset	sivuaine: 2	sivuaine: 1
4. Fotosynteesin ekologiseen merkitykseen liittyvät virhekäsitykset	pääaine: 1 sivuaine: 2	pääaine: 1 sivuaine: 2

Taulukko 6.11. Kaksi viikkoa opetustekstin jälkeen havaittujen virhekäsitysten ja puutteellisten käsitysten määrä pää- ja sivuaineopiskelijoilla luokittain.

#### *Luokka 1: Fotosynteesireaktioon liittyvät virhekäsitykset*

Yhteyttämisreaktioon liittyvä selkein virhekäsitys oli sivuaineopiskelijalla, joka sekoitti yhteyttämisen soluhengitykseen: ”Sokeri, glukoosi hajotetaan vedeksi, hiilidioksidiksi ja ATP:ksi.” (Opiskelija 60) Myös hänellä oli samankaltainen virhe esimitäyksessä, mutta jälkimittauksessa vastaus oli oikea: ”kasvi käyttää auringonvaloa tai epäorgaanisia aineita muodostaakseen sokeria eli energiaa”.

Joillakin opiskelijoilla oli yhteyttämisen reaktioon liittyviä virhekäsityksiä, joita heillä ei ollut aikaisemmissa mittauksissa. Yksi sivuaineopiskelija mainitsi vain viivästetyssä mittauksessa ravinteet yhteyttämisen raaka-aineena. Samoin yksi pääaineopiskelija mainitsi veden yhteyttämisen tuotteena vain viivästetyssä jälkimittauksessa. Viisi sivuaineopiskelijaa ei maininnut Auringon valoenergiaa yhteyttämisestä kysyttäessä. Kuten aiemmissa mittauksissakin, osa heistä selitti yhteyttämisen yleisemmällä tasolla: ”Yhteyttäminen on epäorgaanisten aineiden muuttamista kemiallisesti orgaaniseksi energiaksi”. (Opiskelija 77)

#### *Luokka 2: Kasvien rakenteisiin liittyvät virhekäsitykset*

Kasvin rakenteisiin liittyviä virhekäsityksiä viivästetyssä mittauksessa oli lehtivihreän, klorofyllin ja mitokondrion mainitseminen yhteyttämisen tapahtumispaikaksi. Kolmesta edellä mainittuja virheitä tehneistä opiskelijoista kahdella ei ollut vastaavia virhekäsityksiä aiemmissa mittauksissa. Viisi opiskelijaa ei maininnut kaasujenvaihtoa

ilmarakojen tehtäväksi. Heistä yksi sivuaineopiskelija teki saman virheen esimittauksessa, mutta oli jälkimittauksessa korjannut vastauksensa. Yksi pääaineopiskelija ja yksi sivuaineopiskelija jättivät kaasujenvaihdon mainitsematta ensimmäisen kerran viivästetyssä mittauksessa. Kaksi pääaineopiskelijaa ja 16 sivuaineopiskelijaa ei maininnut haihdutusta ilmarakojen tehtäväksi. Muita ilmarakojen toimintaan liittyviä virhekäsityksiä viivästetyssä mittauksessa olivat, että kasvit ottavat happea ilmaraoillaan, ilmaraot kuljettavat ravinteita ja että ilmarakoja tarvitaan soluhengityksessä. Kolmella opiskelijalla näitä virhekäsityksiä ilmeni vasta viivästetyssä mittauksessa.

### *Luokka 3: Kasvin energiatalouteen liittyvät virhekäsitykset*

Jälkimittauksesta poiketen viivästetyssä jälkimittauksessa ilmeni virhekäsitys, jossa fotosynteesiä ei yhdistetty energian tuottamiseen. Yksi sivuaineopiskelija vastasi esimittauksen tavoin yhteyttämisen olevan kasvien lisääntymistä, vaikka oli jälkimittauksessa vastannut oikein.

Viivästetyssä jälkimittauksessa yksi sivuaineopiskelija ei osoittanut ymmärtävänsä valoenergian sitoutumista yhteyttämässä. Hänellä oli sama puutteellinen käsitys myös aiemmissa mittauksissa. Yhdellä sivuaineopiskelijalla oli havaittiin aiemmissakin mittauksissa havaittu virhekäsitys, että kasvit saavat energiaa maaperän ravinteista.

### *Luokka 4: Fotosynteesin ekologiseen merkitykseen liittyvät virhekäsitykset*

Fotosynteesin ekologiseen merkitykseen, eliöiden ravinnonsaantiin ja ravintoketjujen toimintaan, liittyviä virhekäsityksiä havaittiin myös viivästetyssä jälkimittauksessa. Yhdellä pääaineopiskelijalla oli viivästetyssä mittauksessa virhekäsitys, että liharavintoa tarvitaan kasviraivintoa enemmän. Tällaista virhekäsitystä ei havaittu aikaisemmissa mittauksissa kenelläkään, vaikka muita ravinnon energiasisältöön liittyviä virhekäsityksiä olikin. Yksi sivuaineopiskelija selitti puutteellisesti kasvien roolin ravintoketjussa.

Yksi pääaineopiskelija ja neljä sivuaineopiskelijaa, jotka eivät olleet ymmärtäneet energian ohivirtausta esimittauksessa, mutta olivat jälkimittauksessa korjanneet vastauksensa, eivät viivästetyssä mittauksessa osoittaneet ymmärtävänsä ilmiötä. Sen

lisäksi neljällä sivuaineopiskelijalla oli sekä esimitäuksessa että jälkimittauksessa tyydyttävä käsitys energian ohivirtauksesta, mutta viivästetyssä mittauksessa ilmiön ymmärtäminen ei käynyt ilmi.

### 6.2.3 Törmäyttävän ja selittävän opetustekstin vaikutus sivuaineopiskelijoiden virhekäsitysten muuttumiseen

Selittävän ( $n=61$ ) ja törmäyttävän ( $n=62$ ) opetustekstin lukeneiden sivuaineopiskelijoiden virhekäsitysten analyysi osoitti, että molemmissa ryhmissä virhekäsitykset vähenivät. Taulukossa 6.12 on kuvattu virhekäsityksiä, jotka vähenivät useammin joko selittävän tai törmäyttävän tekstin lukeneilla sivuaineopiskelijoilla. Monet virhekäsityksistä tulivat esiin vain yksittäisten opiskelijoiden vastauksissa, joten niiden vertaaminen luetun opetustekstin tyyppiin ei ollut mielekäästä.

	<b>Virhekäsitykset tai puutteelliset käsitykset, jotka vähenivät enemmän selittävän tekstin lukeneilla</b>	<b>Virhekäsitykset tai puutteelliset käsitykset, jotka vähenivät enemmän törmäyttävän tekstin lukeneilla</b>
<b>Luokka 1</b>	hiilidioksidia ei mainittu fotosynteesireaktiossa	kasvin energiaa peräisin maaperän ravinteista tai vedestä
	vettä ei mainittu fotosynteesireaktiossa	
	happea ei mainittu fotosynteesireaktiossa	
	sokeria ei mainittu fotosynteesireaktiossa	
	auringon energiaa ei mainittu fotosynteesireaktiossa	
	fotosynteesireaktiossa mainittiin energia tai säteily valoenergian tai valon sijaan	
<b>Luokka 2</b>	kaasujenvaihtoa ei mainita ilmarakojen tehtäväksi	yhteyttäminen tapahtuu mitokondriossa
	kaasuista vain hiilidioksidi mainitaan ilmarakojen toiminnassa	kasvit hengittävät ilmaraoillaan
		kasvit ottavat happea ilmaraoillaan
<b>Luokka 3</b>	ei ymmärretä/mainita auringon energian muuttumista sokeriksi kasvin yhteyttämisessä	
<b>Luokka 4</b>	energian ohivirtausta ravintoketjussa ei ole ymmärretty	kasvien rooli ravintoketjussa epäselvä
	syitä energian ohivirtaukselle ei ole selitetty tai ymmärretty, vaikka idea ymmärretään	lihan energiaa ei osata yhdistää kasveihin ja yhteyttämiseen

Taulukko 6.12. Sivuaineopiskelijoiden virhekäsitykset ja puutteelliset käsitykset, joiden määrän väheneminen erosi selittävän tekstin ja törmäyttävän tekstin lukeneiden kesken.

Fotosynteesireaktioon (luokka 1), kasvien rakenteisiin (luokka 2) ja fotosynteesin ekologiseen merkitykseen (luokka 4) liittyvissä virhekäsityksissä oli sekä sellaisia virhekäsityksiä, jotka vähenivät enemmän selittävän tekstin lukeneilla kuin törmäyttävän tekstin lukeneilla että sellaisia virhekäsityksiä, joiden kohdalla tilanne oli päinvastainen. Kasvien energiataloutteen (luokka 3) liittyi yksi virhekäsitys, jonka määrä väheni enemmän selittävän tekstin lukeneilla kuin törmäyttävän tekstin lukeneilla.

Viivästetyssä jälkimittauksessa havaittiin joitakin virhekäsityksiä, jotka tulivat esiin esimittauksessa mutta eivät kuitenkaan jälkimittauksessa. Esimerkiksi seitsemän sivuaineopiskelijaa osoitti esimittauksessa ymmärtävänsä energian ohivirtauksen puutteellisesti. He korjasivat vastauksensa jälkimittauksessa, mutta vastasivat kahden viikon kuluttua viivästetyssä jälkimittauksessa jälleen puutteellisesti. Kolme näistä sivuaineopiskelijoista oli lukenut selittävän opetustekstin ja neljä törmäyttävän tekstin. Kaiken kaikkiaan tämän tutkimuksen perusteella ei voida sanoa, että erilaisilla opetusteksteillä olisi ollut erilainen vaikutus sivuaineopiskelijoiden virhekäsitysten korjaantumiselle.

### 6.3 Pääaineopiskelijoiden ja sivuaineopiskelijoiden vertailu virhekäsitysten suhteen

Sivuaineopiskelijoilla oli yhteensä enemmän virhekäsityksiä kuin pääaineopiskelijoilla sekä esimittauksessa että jälkimittauksessa kaikissa virhekäsitysluokissa (Taulukko 6.6). Pääaineopiskelijoilla ei havaittu lainkaan kasvin energiataloutteen liittyviä virhekäsityksiä (luokka 3).

Kaiken kaikkiaan suurin osa virhekäsityksistä oli yleisempiä sivuaineopiskelijoilla kuin pääaineopiskelijoilla. Virhekäsitys, että ilmaraoista poistuu hiilidioksidiä, oli poikkeuksellisesti yleisempi pääaineopiskelijoilla kuin sivuaineopiskelijoilla. Lisäksi useita energian ohivirtauksen syihin liittyviä yksittäisiä virhekäsityksiä havaittiin vain pääaineopiskelijoilla. Näitä olivat esimerkiksi virhekäsitykset, että suurin osa energiasta ei vapaudu kuluttajan käyttöön ja että toisenvaraiset eliöt sisältävät vähemmän energiaa kuin omavaraiset eliöt (Liite 2).

Jälkimittauksessa energian ohivirtaukseen liittyvät selkeät virhekäsitykset olivat pääaineopiskelijoilla sivuaineopiskelijoita yleisempiä, vaikka pääaineopiskelijat

ymmärsivätkin ohivirtauksen periaatteen paremmin (Taulukko 6.10). Muita virhekäsityksiä, jotka olivat opetustekstin lukemisen jälkeen suhteellisesti yleisempiä pääaineopiskelijoilla kuin sivuaineopiskelijoilla, olivat virheellisten aineiden mainitseminen fotosynteesireaktioon liittyen (Taulukko 6.7) sekä kaasujenvaihdon mainitsematta jättäminen ilmarakojen tehtävistä (Taulukko 6.8). Opetustekstin lukemisen jälkeen kasvien rakenteisiin (luokka 2) sekä fotosynteesin ekologiseen merkitykseen (luokka 4) liittyvät virhekäsitykset vähenivät suhteellisesti enemmän pääaineopiskelijoilla kuin sivuaineopiskelijoilla.

## 6.4 Tiedon ja ajattelutaitojen tasot virhekäsitysluokissa

Virhekäsityksiä tarkasteltiin luokittain suhteessa niihin Krathwohlin (2002) kuvaamiin tiedon ja ajattelutaitojen tasoihin. Opiskelijoiden virhekäsityksistä analysoitiin jokaisessa luokassa siltä kannalta, millaisia tiedon ja ajattelutaitojen tasoja niistä tunnistettiin. Tarkastelussa tasot on esitelty taulukossa 2.2. Tiedon tasot ovat 1 faktatieto, 2 käsitetieto, 3 menetelmätieto ja metakognitiivinen tieto. Ajattelutaitojen tasot ovat 1 muistaminen, 2 ymmärtäminen, 3 soveltaminen, 4 analysoiminen, 5 arvioiminen ja 6 luominen. Analyysin tulokset kullekin virhekäsitysluokalle tyypillisistä tiedon ja ajattelutaitojen tasoista on esitetty taulukossa 6.13.

<b>Virhekäsitysluokka</b>	<b>Virhekäsitysten tiedon tasot</b>	<b>Virhekäsitysten ajattelun tasot</b>
1. Fotosynteesireaktioon liittyvät virhekäsitykset	faktatieto (1)	muistaminen (1)
2. Kasvin rakenteisiin liittyvät virhekäsitykset	faktatieto (1), käsitetieto (2)	muistaminen (1)
3. Kasvin energiatalouteen liittyvät virhekäsitykset	faktatieto (1), käsitetieto (2)	muistaminen (1), ymmärtäminen (2), soveltaminen (3)
4. Fotosynteesin ekologiseen merkitykseen liittyvät virhekäsitykset	käsitetieto (2)	ymmärtäminen (2), soveltaminen (3)

Taulukko 6.13. Virhekäsitysluokat suhteessa niille ominaisiin tiedon ja ajattelutaitojen tasoihin käyttäen Krathwohlin (2002) luokittelua.

Opiskelijoiden virhekäsitykset, joissa yhteyttämistä ei liitetä energiantuotantoon (luokka 1), kuvastavat Krathwohlin kuvaamista tiedon tasoista puutteita faktatiedossa. Ajattelun

tasoista luokan 1 virhekäsitykset liittyvät samasta syystä enemmän muistamiseen kuin ymmärtämiseen.

Opiskelijoiden fotosynteesireaktioon liittyvät virhekäsitykset (luokka 1) liittyvät sekä faktatietoon että käsitetietoon. Faktatietoa on esimerkiksi reaktion lähtöaineet ja lopputuotteet. Käsitetietoa on reaktion ymmärtäminen tapahtumaksi, jossa auringon valo sitoutuu kemialliseksi energiaksi. Ajattelun tasoista tämän luokan virhekäsitykset liittyvät lähinnä puutteisiin muistamisessa.

Opiskelijoiden kasvin rakenteisiin liittyvät virhekäsitykset (luokka 2) liittyvät faktatietoon ja ilmarakojen toiminnan osalta jonkin verran myös käsitetietoon. Ajattelun tasoista virhekäsitykset liittyvät lähinnä puutteisiin muistamisessa. Ilmarakojen tehtävä tai fotosynteesin sijainti ovat suhteellisen yksiselitteisiä asioita, eikä niiden tietäminen vaadi syvällistä ymmärtämistä.

Opiskelijoiden kasvien energiatalouteen liittyvät virhekäsitykset (luokka 3) liittyvät faktatietoon ja käsitetietoon. Yhteyttäminen ilmiönä edustaa käsitetietoa, mutta yhteyttämisen yhdistäminen kasvien lisääntymiseen kuvaa yhteyttäminen-sanaan liittyvää faktatiedon puutetta. Kasvin energiansaannissa korostuu Auringon energian yhdistäminen kasvien energiaan yhteyttämiskäsitteen avulla. Tarvittava faktatieto liittyy etenkin yhteyttämisreaktion hallintaan. Ajattelun tasoista luokan 3 virhekäsitykset liittyvät puutteisiin muistamisessa, ymmärtämisessä ja soveltamisessa. Soveltamista on osata yhdistää kaksi toisiinsa sellaisinaan liittymätöntä käsitettä toisiinsa, esimerkiksi auringonvalo salaatin sisältämään energiaan yhteyttämisen käsitteen avulla. Muistamista ja ymmärtämistä edellyttävät esimerkiksi yhteyttäminen-sanan merkityksen muistaminen sekä ravinteiden ja ravinnon erottaminen.

Opiskelijoiden fotosynteesin ekologista merkitystä ja ravintoketjun toimintaa koskevat virhekäsitykset (luokka 4) liittyvät lähinnä käsitetietoon. Hallittavia käsitteitä ovat esimerkiksi tuottaja ja ravintopyramidi. Käsitteiden hallinnan taustalla on faktatietoa. Ajattelun tasoista tämän luokan virhekäsitykset liittyvät lähinnä puutteisiin ymmärtämisessä ja soveltamisessa. Etenkin vastattaessa kysymykseen 5 lihantuotannon vaatimuksista vastaaja joutuu soveltamaan tietojaan energian virtauksessa ravintoketjussa käytännölliseen ja viitekehykseltään biologiasta loittonevaan aiheeseen. Soveltaminen korostuu enemmän luokan 4 virhekäsityksissä verrattuna luokan 3 virhekäsityksiin.



## 7 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksessa huomattiin, että yliopisto-opiskelijoilla on lukuisia yhteyttämiseen ja sen merkitykseen liittyviä virhekäsityksiä sekä puutteellisia käsityksiä (Taulukko 6.1). Lähes kaikki tutkimuksessa havaitut yksittäisetkin virhekäsitykset ovat sellaisia, joita on havaittu lapsilla ja nuorilla jo aiemmissa tutkimuksissa (esim. Koba & Tweed 2009; Mintzes & Wandersee, 2005; Stavy ym. 1987). Näin ollen havaittuja virhekäsityksiä on mahdollista tarkastella myös siitä näkökulmasta, että ne ovat todennäköisesti olleet opiskelijoilla jo pitkään, ja niiden korjaamiseksi vaaditut käsitteelliset muutokset ovat jääneet kouluopetuksessa tapahtumatta (Vosniadou 2007). Osa pääaineopiskelijoista ja ennen kaikkea suuri osa sivuaineopiskelijoista valmistuu biologian aineenopettajiksi. Tästä syystä on erityisen tärkeää, että heidän fotosynteesiä koskevat virhekäsityksensä korjaantuvat ja ymmärryksensä lisääntyy yliopisto-opintojen aikana.

### 7.1 Fotosynteesiin liittyvät virhekäsitykset

Suomalaisissa opetussuunnitelmien perusteissa (OPS 2004; LOPS 2003) yhteyttämistä koskevat tavoitteet painottuvat yhteyttämisen ekologiseen merkitykseen ravintoketjujen ja ekosysteemien kannalta. Ekologisen merkityksen ymmärtämiseksi on ymmärrettävä kasvin kyky sitoa auringonvaloa energiakseen. Opetussuunnitelman painotusten kannalta keskeisimmät tässä tutkimuksessa havaitut virhekäsitykset liittyivät kasvien energiatalouteen (Taulukko 6.4) sekä kasvien merkitykseen ravintoketjuissa (Taulukko 6.5). Energiatalouteen ja ravintoketjuihin liittyviä puutteellisia käsityksiä oli huomattavan monella sivuaineopiskelijalla. Yhteensä jopa 18 % sivuaineopiskelijoista ei osoittanut ymmärtävänsä joko auringonvalon sitoutumista kasveihin, kasvien roolia ravintoketjussa tai lihan energian alkuperää. Lisäksi opiskelijoilla oli lukuisia näihin liittyviä yksittäisiä virhekäsityksiä.

Yhteyttämisen ekologiseen merkitykseen ja kasvien energiatalouteen liittyviä virhekäsityksiä on havaittu aiemmissa tutkimuksissa nuoremmilla oppilailla (mm. Mikkilä-Erdmann 2002; Stavy ym. 1987; Koba & Tweed 2009). On oletettavaa, että tutkimuksen sivuaineopiskelijoilla virhekäsitykset ovat muodostuneet aikaisemmin kouluopetuksen aikana tai ennen sitä. Tulokset osoittavat, että monen opiskelijan kohdalla kouluopetus ei ole ollut riittävää kasvien ja yhteyttämisen merkitykseen

liittyvien ristiriitojen korjaantumiseksi. Kyseisillä opiskelijoilla ei ole tapahtunut virheellisen käsitysten korjaamiseksi tarvittavia käsitteellisiä muutoksia. Vosniadoun ym. (2008) mukaan virhekäsitykset muodostuvat arkikokemuksen ja opetuksessa saadun ristiriitaisen tiedon virheellisestä yhteensovittamisesta. DiSessan (2008) mukaan virhekäsitysten taustalla on opiskelijoiden kykenemättömyys jäsentää arkikokemuksista ja mahdollista opetuksesta saatua tietoa toimiviksi ja virheettömiksi malleiksi. Virhekäsitysten taustalla olevat arkikokemukset liittyvät todennäköisesti kasvien käyttämiseen ravintona ja toisaalta kasvien kasvuedellytyksiin (Hatano & Inagaki 2003). Tämän tutkimuksen tulosten perusteella näyttää siltä, että yhteyttämistä koskevasta opetuksesta huolimatta opiskelijat eivät ole ymmärtäneet yhteyttämisreaktiota linkkinä auringonvalon ja ravintoketjujen energian välillä, vaikka useimmat ovatkin tienneet yhteyttämisreaktion liittyvän jotenkin kasvin energiatalouteen.

Tulos on huolestuttava verrattuna peruskoulun opetussuunnitelmaan, jonka mukaan jo 5.–6.-luokkalaisten lasten tulisi ymmärtää elintarvikkeiden alkuperä ja tietää kasvien valmistavan ravintonsa yhteyttämisen avulla. Peruskoulun 7.–9.-luokkien jälkeen opiskelijoiden tulisi ymmärtää fotosynteesi ja sen merkitys eliökunnalle sekä ekosysteemien toiminnalle. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella ainakaan 7.–9.-luokkien tavoitteet eivät ole toteutuneet usean opiskelijan kohdalla. Yhteyttämisen ekologisen merkityksen ja ravintoketjujen periaatteiden ymmärtäminen on edellytys ymmärtää monia ravinnontuotantoon ja kuluttamiseen liittyviä yhteiskunnallisia kysymyksiä ja globaaleja ongelmia. Jos yliopistossa opiskelevilla, usein luonnontieteellisesti suuntautuneilla ja lukion käyneillä opiskelijoilla on vaikeuksia ymmärtää näitä yhteyttämiseen liittyviä ekologisia perusasioita, on syytä olettaa että vastaava ymmärtämättömyys on koko peruskoulun käyneessä aikuisväestössä huomattavaa.

Yhteyttämisen ekologiseen merkitykseen ja ennen kaikkea ravintoketjujen toimintaan liittyy myös ravintoketjuissa tapahtuva energian ohivirtaus, joka oli tulosten mukaan varsin huonosti ymmärretty (Taulukko 6.5). Monille opiskelijoilla oli selvästi jonkinlaista tietoa ohivirtauksesta, mutta ei riittävästi, jotta he olisivat kyenneet perustelemaan ravintopyramidin kapenemista tai lihantuotannon tehottomuutta kasvintuotantoon verrattuna. Opiskelijat mainitsivat esimerkiksi energieettisen taloudellisuuden tai energian hyötysuhteen, mutta eivät selittäneet niiden avulla energian virtausta ravintoketjussa. Tieto ei usean opiskelijan kohdalla ollut varsinaisesti

väärää, mutta ohivirtauksen selittämisen kannalta epämääräisesti ilmaistu. Tällaiset vastaukset osoittavat, että opiskelijalla on oikeaa tietoa, mutta tieto on riittämättömästi jäsentynyt käsitteiden hallitsemiseksi. DiSessan (2008) mukaan virhekäsitykset johtuvat käsitteellisen tiedon osatekijöiden jäsentymättömyydestä ja tilannesidonnaisuuden ymmärtämättömyydestä. DiSessan teorian mukaan tämän tutkimuksen havaintoja voidaan selittää sillä, että ohivirtausta koskeva käsitteellinen tieto ei ole monen opiskelijan kohdalla vielä jäsentynyt eheäksi kokonaisuudeksi. Ohivirtauksen tapauksessa hyötysuhteesta ja energieettisestä taloudellisuudesta puhumisen taustalla on mitä ilmeisemmin myös opetuksen vaikutusta. Siinä mielessä myös Vosniadoun (2007) tulkinta virhekäsityksistä synteettisinä malleina, joissa uusi tieto yhdistyy aiempiin tietorakenteisiin virheellisesti, on osuva.

Käsitteelliseen muutokseen tähtäävän opetuksen kannalta kummankin edellä mainitun näkökulman (DiSessa 2008; Vosniadou ym. 2008) huomioiminen on tarkoituksenmukaista. DiSessan (2008) teoria ottaa paremmin huomioon sen, että osalla opiskelijoista on epämääräisistä vastauksista huolimatta selkeästi myös oikeita käsityksiä ohivirtaukseen liittyen. Vosniadoun ym. (2008) teorian mukaisesti opetuksessa on korostettava kuitenkin uuden tiedon ja vanhojen käsitysten yhdistelyssä syntyvien ristiriitojen ehkäisemistä sekä osoitettava jo olemassa olevien mallien ristiriitoja. Esimerkiksi lajien väliseen ekologiaan ja ravinnon energiamääriin ja liittyvien selityksien taustalla saattaa toki olla toisiin tilanteisiin sopivaa oikeaa tietoa, mutta ohivirtauksen periaatteeseen liittyvinä nämä selitykset kertovat opiskelijoiden virheellisistä malleista.

Mielenkiintoinen havainto on, että ohivirtauksen periaate selitettiin paremmin silloin, kun kysyttiin ravintopyramidin kapenemisesta kuin kysyttäessä lihantuotannon tehottomuudesta. Tarkastelemalla vastauksia suhteessa Krathwohlin (2002) esittelemiін tiedon ja ajattelun tasoihin voidaan perustella, että ravintopyramidien kapenemiseen yhdistettynä ohivirtausta koskevan ajattelu liittyy muistamiseen ja ymmärtämiseen. Sen sijaan lihatuotannon ja kasvituotannon ekologisten erojen pohtiminen vaatii Krathwohlin (2002) luokittelussa korkeampia ajattelun tasoja, kuten soveltamista ja jopa analysoimista. Tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että ohivirtauksen tapauksessa kouluopetuksessa saatu tieto painottuu ravintopyramidien tarkasteluun ja alemmille ajattelun tasoille, eikä tiedon soveltaminen ole opiskelijoille itsestään selvää. Vaikeus soveltaa opittua tietoa uusissa tilanteissa viittaa siihen, että oppimisessa ei ole tapahtunut riittäviä käsitteellisiä muutoksia (Vosniadou 2007b). Osa opiskelijoista osaa

selittää ravintopyramidin kapenemisen, mutta virhekäsityksiä ja synteettinen malli tulee esille, kun tietoa pitäisi soveltaa kestäväan ravinnontuotantoon. Opetuksessa monimutkaiset ilmiöt kuten energian ohivirtaus, tulisi liittää monipuolisesti erilaisiin tilanteisiin (Taulukko 2.1). Tällöin oppija ymmärtää paremmin tiedon tilannesidonnaisuuden ja virheellisten teorioiden rajoitukset: vain tietty oikea teoria ohivirtauksesta toimii kaikissa tarpeellisissa tilanteissa (DiSessa 2008).

Tutkimuksen mukaan myös fotosynteesireaktion osaamisessa oli paljon puutteita (Taulukko 6.2). Pieni määrä sivuaineopiskelijoita sekoitti yhteyttäminen soluhengitykseen ja energian vapauttamiseen. Vastaavanlaisia havaintoja on tehty aiemmin nuoremmilla oppilailta (Amir & Tamir 1994). Opiskelijoilla vaikuttaa olevan tietoa sekä soluhengityksestä että yhteyttämisestä, mutta eri ilmiöitä koskeva tieto on sekoittunut muodostaen Vosniadoun (2007) mukaan virheellisiä synteettisiä malleja. Opiskelijoiden malleihin saattaa liittyä useita yksittäisiä yhteyttämistä, soluhengitystä ja energiaa koskevia virhekäsityksiä. Yksittäisten virhekäsitysten korjaantuminen tarkoita automaattisesti koko mallin korjaantumista (Chi 2008). Hyvä esimerkki tällaisesta tilanteesta käy ilmi erään sivuaineopiskelijan vastauksesta: *”Yhteyttämisessä valo muutetaan soluhengityksen avulla hapeksi.”* Yhteyttäminen ja soluhengityksen ymmärtämiseksi opiskelijan olisi Chin (2008) mukaan kyettävä vertaamaan omia mallejaan kokonaisuudessaan tieteelliseen selitykseen, ja ymmärrettävä, että ristiriidat koskevat yksittäisiä virheitä suurempia rakenteita. Käsitteellisen muutoksen tutkimus on korostanut, että tällainen toiminta vaatii oppijalta aktiivista tiedostamista, tavoitteellisuutta ja sitoutumista (Vosniadou ym. 2008, Sinatra & Pintrich 2003).

Tämän tutkimuksen tulosten mukaan fotosynteesireaktion lähtöaineiden tai reaktiotuotteiden mainitsematta jättäminen ei kaikkien opiskelijoiden kohdalla tarkoita välttämättä puutteita tiedoissa tai virhekäsityksiä. Monet opiskelijat eivät toki muistaneet kaikkia reaktion aineita, mutta osa vastasi kysymykseen yhteyttämisestä yleisemmin energian sitomisen näkökulmasta eikä tuonut vastauksessa esiin reaktion aineita. On merkille pantavaa, että kirjallisuudessa kuvattu hapen tuottamisen merkityksen ylikorostuminen ei ole tässä tutkimuksessa opiskelijoilla yleistä (esim. Koba & Tweed 2009; Özay & Öztas 2003). Vain yhden sivuaineopiskelijan mielestä yhteyttäminen oli ensisijaisesti kasvien keino tuottaa happea. Sen sijaan moni opiskelija piti ravinteita ainakin osittain kasvien energianlähteenä tai mainitsi ne fotosynteesireaktion lähtöaineena (Taulukko 6.4; Taulukko 6.2). Tällainen virhekäsitys

liittyy kasveihin liitettäviin ihmismäisiin piirteisiin ravinnon syömisestä, ja se on havaittu yleisesti aiemmissa tutkimuksissa (Barman ym. 2006; Hatano & Inagaki 2003).

Tässä tutkimuksessa biologian opiskelijoilla oli määrällisesti eniten kasvien rakenteisiin liittyviä virhekäsityksiä (Taulukko 6.3). Ajattelun tasoista ymmärtäminen, soveltaminen ja analysoiminen yleensä edellyttävät aihepiiriin fakta- ja käsitetiedon muistamista (Krathwohl 2002). Tästä voidaan päätellä, että virhekäsitykset hapen ottamisesta, hiilidioksidin poistamisesta ja hengittämisestä ilmaraoilla tai ilmarakojen merkityksestä soluhengityksessä kertovat epäsuorasti myös puutteista yhteyttämiseen ja kasvien energiatalouteen liittyvässä ymmärryksessä. Jos opiskelija ymmärtäisi yhteyttämisen ja soluhengityksen merkityksen ja niihin liittyvät reaktiot, hänen olisi helpompi muistaa tai päätellä yksityiskohtaisempaa tietoa myös ilmarakojen toiminnasta. Kasvifysiologialla ja -anatomialla on melko pieni painoarvo koulun biologianopetuksessa (Russell ym. 2004), mikä saattaa myös selittää puutteita rakenteisiin liittyvissä tiedoissa.

Tässä tutkimuksessa virhekäsitykset, joissa yhteyttämisen merkitystä ei yhdistetty millään tavalla energiaan olivat harvinaisia (Taulukko 6.4). Kolmen sivuaineopiskelijan käsitys yhteyttämisestä kasvien lisääntymisenä selittynee sillä, että he eivät yksinkertaisesti muistaneet sanan merkitystä. Yhteyttämisen ja lisääntymisen sekoittuminen on havaittu myös aiemmissa tutkimuksissa (Amir & Tamir 1994). Lisääntymisen ja yhteyttämisen sekoittaneet opiskelijat kuitenkin tiesivät kasvien saavan energiaa auringonvalosta. Pienet lapset usein käsittävät arkikokemusten perusteella kasvit valoa tarvitseviksi ja eläimille analogisiksi juurillaan syöviksi eliöiksi (Vosniadou ym. 2008; Inagaki & Hatano 2003). Vaikuttaa siltä, että tämän tutkimuksen kahden opiskelijan käsitykset kasveista valoa tarvitsevina eliöinä eivät ole kouluopetuksen aikana yhdistyneet riittäväällä tavalla yhteyttämisen käsitteeseen. On hyvin epätodennäköistä, että opiskelijat todella ymmärtäisivät fotosynteesin periaatteen, mutta eivät muistaisi, mitä yhteyttämällä tarkoitetaan.

Tässä tutkimuksessa tulosten perusteella sekä biologian pääaine- että sivuaineopiskelijoilla oli virhekäsityksiä, mutta pääaineopiskelijoilla niitä oli selkeästi sivuaineopiskelijoita vähemmän (Taulukko 6.6). Tämä selittyy sillä, että pääaineopiskelijat ovat lukeneet lukion biologian oppimäärän yliopiston pääsykokeita varten ja osoittaneet hallitsevansa sen. On myös todennäköistä, että he ovat olleet keskimäärin sivuaineopiskelijoita kiinnostuneempia biologiasta peruskoulussa ja

lukiossa ja opiskelleet sitä enemmän, koska ovat halunneet opiskelemaan juuri biologiaa. Sen sijaan sivuaineopiskelijan aiemmat biologian opinnot ovat saattaneet rajoittaa peruskoulun jälkeen lukion pakollisiin kursseihin. Yliopisto-opetuksen kannalta tilanne on haastava. Biologian peruskurssin opetus on samaa pää- ja sivuaineopiskelijoille ja lähtee oletuksesta, että fotosynteesin periaate ymmärretään. Jos lähtötiedoiltaan heikommat opiskelijat eivät kurssin aikana kyseenalaista virheellisiä käsityksiään, heille ei tapahdu oppimiseen tarvittavia käsitteellisiä muutoksia. Tällöin lyhytkestoista ja voi johtaa virheellisten synteettisten mallien muodostumiseen (Vosniadou 2008). On syytä pohtia miten yliopiston peruskurssilla voitaisiin tukea erityisesti sivuaineopiskelijoita tiedostamaan ja korjaamaan virhekäsityksiään. Eräs yksinkertainen keino voisi olla tässä tutkimuksessa käytetyn kysymyslomakkeen kaltainen diagnostinen tentti tai tehtävä ja sen vastausten tarkistaminen esimerkiksi opetustekstin avulla.

## 7.2 Virhekäsitysten korjaantuminen opetustekstin lukemisen seurauksena

Tutkimuksessa havaittiin, että opiskelijoiden fotosynteesiin liittyvät virhekäsitykset vähenivät heti opetustekstin lukemisen jälkeen (Taulukko 6.6). Kaikki opiskelijat ymmärsivät yhteyttämisen periaatteen kohtalaisesti eikä sitä sekoitettu lisääntymiseen tai soluhengitykseen. Muutkin kasvien energiatalouteen liittyvät virhekäsitykset vähenivät (Taulukko 6.9). Yhteyttämisen yhteydessä ei mainittu opetustekstin lukemisen jälkeen sokeria raaka-aineena, mikä osoittaa periaatteen ymmärtämistä. Kasvien rakenteisiin ja fotosynteesin sijaintiin liittyvät virhekäsitykset pääosin vähentyivät (Taulukko 6.8). Haihduttaminen mainittiin jälkimittauksessa harvemmin ilmarakojen tehtäväksi kuin esimittauksessa. Tämän selittää todennäköisesti se, että opetustekstissä haihduttamista ei mainittu, mikä on lisännyt opiskelijoiden epävarmuutta asiasta. Myös yhteyttämisen ekologiseen merkitykseen liittyvät virhekäsitykset vähenivät (Taulukko 6.10). Vähentyneiden virhekäsitysten lisäksi jälkimittauksessakin puutteellisiksi tulkitut vastaukset olivat usein parantuneet esimittaukseen verrattuna.

On luonnollista, että virhekäsitykset ja puutteellinen ymmärrys vähenivät, kun oppilaat lukivat opetustekstin, jossa annettiin vastaukset kaikkiin kysymyslomakkeen

kysymyksiin. Yksittäisten virhekäsitysten on aiemminkin havaittu korjaantuvan opetustekstin vaikutuksesta (Mikkilä-Erdmann 2002; Chi & Roscoe 2002). Faktatietoon ja muistamiseen liittyvien virhekäsitysten korjaamiseksi vaadittavat käsitteelliset muutokset ovat usein helpompia kuin laajojen virheellisten mallien korjaaminen (Chi 2008). Tämän perusteella voisi olettaa, että fotosynteesireaktioon ja kasvien rakenteisiin liittyvät virhekäsitykset vähenisivät opetustekstin lukemisen seurauksena eniten (luokat 2 ja 3, Taulukko 6.13). Näin ei tutkimuksessa käynyt, vaan yhteyttämisen ekologiseen merkitykseen ja ravintoketjuihin liittyvät virhekäsitykset vähenivät suhteellisesti eniten (Taulukko 6.6). Tässä tutkimuksessa monimutkaiset, korkeampiin tiedon ja ajattelun tasoihin, liittyvät virhekäsitykset korjaantuivat opetustekstin seurauksena jopa paremmin kuin muistamiseen ja faktatietoon liittyvät virhekäsitykset. Käsitteellinen muutos vaatii oppijan aktiivista tietorakenteidensa muokkaamista ja yleensä korkeaa tavoitteellisuutta (Vosniadou ym. 2008; DiSessa 2008; Chi 2008; Sinatra & Pintrich 2003). Kenties monimutkaisempien tai soveltavampiin tilanteisiin liittyvien virhekäsitysten havaitseminen omassa ajattelussaan motivoi käsitteelliseen muutokseen enemmän kuin faktatietoon liittyvien virhekäsitysten havaitseminen. Se selittäisi tulosta, että olettavasti vaikeammin korjattavia virhekäsityksiä korjaantui suhteellisesti samassa tai suuremmassa määrin kuin faktatietoon liittyviä virhekäsityksiä.

Tuloksissa tuli esiin lukuisia erilaisiin virhekäsityksiin liittyviä esimerkkejä siitä, että puutteellinen käsitys muuttuu tai jäsentyy opetustekstin lukemisen seurauksena kohti oikeaa. Esimerkiksi yhteyttämisen ja soluhengityksen esittämisessä eri tavoin sekoittaneet opiskelijat olivat jälkimittauksessa osanneet erottaa ilmiöt toisistaan ja vastata paremmin. Chin (2008) mukaan käsitteellistä muutosta on syytä tarkastella uuden ja vanhan tiedon ristiriitojen korjaantumisenä eri tasoilla. Ristiriidat voivat liittyä yksittäisiin virhekäsityksiin, useiden virhekäsitysten malleihin tai toisistaan kategorisesti eroavan tiedon sekoittumiseen (esim. eloton ja elollinen tai energia ja materia). Tämän tutkimuksen tulosten perusteella opiskelijat ovat opetustekstiä lukiessaan verranneet aiempia käsitystään soluhengityksestä ja yhteyttämisestä opetustekstin mukaisiin käsityksiin ja onnistuneet korjaamaan riittävän monta ristiriitaa käsitteellisen muutoksen toteutumiseksi. Toisaalta toisen käsitteellisen muutoksen näkökulman mukaan virhekäsitykset johtuvat siitä, että oppijan käsityksiä muodostavat tiedon osat ovat jäsentymättömiä, eikä hän osaa soveltaa niitä oikeissa tilanteissa (DiSessa 2008). Tästä näkökulmasta tarkasteltuna tutkimuksen opiskelijoilla on ollut tietoa sekä soluhengityksestä että yhteyttämisestä, mutta he eivät ole ymmärtäneet

tiedon tilannesidonnaisuutta vaan sekoittaneet ilmiöt keskenään. Lukiessaan opetustekstiä he ovat jäsentäneet tietonsa uudelleen koskevaksi joko yhteyttämistä tai soluhengitystä ja osanneet jälkimittauksessa erottaa ilmiöt. Yhteyttämisen ja soluhengityksen sekoittaneiden tavoin myös energian ohivirtauksen puutteellisesti esimittauksessa selittäneet, erityisesti sivuaineopiskelijat, paransivat vastauksiaan.

Useassa tapauksessa, esimerkiksi energian ohivirtausta selittäessä, opiskelija merkitsi jälkimittauksessa vastauksensa samaksi kuin esimittauksessa ja lisäsi siihen jotain olennaista. Osa näin muodostetuista parannelluista vastauksista osoittaa opiskelijan ymmärtäneen asian oikealla ja riittävällä tavalla, mikä viittaa käsitteelliseen muutoksen esikäsitteellisentiedon jäsentymisenä (DiSessa 2008) tai ristiriitaisten synteettisten mallien korjaantumisenä (Vosniadou ym. 2008). Muutamassa tällaisessa tilanteessa opiskelija päätyi kuitenkin vastaukseen, jossa oli mukana esimittauksen virheellinen tai puutteellinen vastaus sekä opetustekstin lukemisen jälkeen tehty oikean vastauksen suuntainen lisäys. Tällainen vastaustapa viittaa siihen, että opiskelija ei ole kokenut tarpeelliseksi hylätä aiempaa vastaustaan, vaan pitää sitä edelleen arvokkaana, vaikka se objektiivisesti tarkasteltuna vaikuttaa virheelliseltä. Tällöin on syytä pohtia, sekoittaako opiskelija uuden tiedon vanhaan epämääräiseen käsitykseensä ja muodostaa ristiriitaisista käsityksistä virheellisen synteettisen mallin (Vosniadou ym. 2008). Toinen mahdollisuus on, että opiskelija on onnistunut jäsentämään aiemman käsityksensä muodostaneita tiedon osia oikean mallin mukaiseksi tiedoksi ja kenties ymmärtää ja tulkitsee esimittauksen vastaustaan oikealla tilannesidonnaisella tavalla (DiSessa 2008). Lomakkeessa oli ohjeistettu kirjoittamistarpeen vähentämiseksi hyödyntämään esimittauksen vastausta ja tekemään siihen korjauksia ja lisäyksiä. Tämä on saattanut kannustaa vanhan vastauksen säilyttämiseen, vaikka opiskelija ei välttämättä vastaisi enää aivan samalla tavalla. Etenkin epäselvissä tapauksissa opiskelijoiden tarkemman käsitteellisen ymmärryksen kartoittaminen, esimerkiksi haastattelemalla, olisi hyödyllistä todellisen käsitteellisen ymmärryksen, käsitteellisen muutoksen prosessin ja mahdollisten synteettisten mallien selvittämiseksi.

Laadullisessa tarkastelussa ei havaittu, että erilaiset tekstit olisivat vaikuttaneet virhekäsitysten vähenemiseen merkittävästi erilaisella tavalla, vaikka aiemman tutkimuksen kvantitatiivisessa tarkastelussa törmäyttävän tekstin lukeneiden sivuaineopiskelijoiden vastaukset olivat hieman parempia kuin selittävän tekstin lukeneiden vastaukset (Södervik ym. 2015). Kumpikin tekstityyppi johti joidenkin samaan luokkaan kuuluvien virhekäsitysten korjaantumiseen toista tekstiä



tehokkaammin (Taulukko 6.12). Tällaisia virhekäsityksiä liittyi niin fotosynteesireaktioon, kasvien rakenteisiin kuin yhteyttämisen ekologiseen merkitykseenkin. Eri opetustekstien vaikutus ei myöskään eronnut tiedon ja ajattelutaitojen tasojen suhteen, vaan edellä mainitut virhekäsitykset liittyivät sekä faktatietoon ja käsitetietoon että muistamiseen, ymmärtämiseen ja soveltamiseen (Taulukko 6.13).

Kvantitatiivisen tarkastelun tulokset törmäyttävän ja selittävän opetustekstien vaikutusten eroista (Södervik ym. 2015) eivät saaneet tässä tutkimuksessa vahvistusta. Virhekäsitysten määrän ei havaittu pienenevän enemmän tai tietyntyyppisten virhekäsitysten korjaantuvan tehokkaammin törmäyttävän tekstin lukeneilla kuin selittävän tekstin lukeneilla opiskelijoilla. Tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että kvalitatiivisen tarkastelun tulos törmäyttävän opetustekstin lukeneiden opiskelijoiden selittävän tekstin lukeneita paremmista pisteistä selittyy vastausten paranemisella kauttaaltaan: törmäyttävän tekstin lukeneet ovat vastanneet jälkimittauksessa keskimäärin hieman paremmin ja saaneet enemmän pisteitä, vaikka virhekäsitysten tai puutteellisten käsitysten määrä ei ole vähentynyt toista ryhmää enempää.

### 7.3 Virhekäsitysten säilymistä selittävät tekijät

Molemmissa opetustekstityypeissä kerrottiin oikeisiin vastauksiin vaadittavat tiedot. Enemmän tai vähemmän parantuneista vastauksista huolimatta jälkimittauksessa ja viivästetyssä jälkimittauksessa havaittiin silti samoja selkeitä virhekäsityksiä kuin esimittauksessa (Taulukot 6.7–6.10; Liite 2). Mielenkiintoinen kysymys on, miksi opiskelijoilla oli edelleen jälkimittauksessa virhekäsityksiä, paikoin jopa yhtä paljon tai lähes yhtä paljon kuin ennen opetustekstin lukemista. Miksi vastaukset eivät muuttuneet järjestäen tarkoiksi ja oikeiksi? Tältä osin tulokset tukevat yleistä näkemystä siitä, että virhekäsitysten hylkääminen ja korjaantuminen ei ole yksinkertainen tapahtuma, vaan edellyttää laajempia muutoksia oppijan tietorakenteissa ja tavoissa jäsentää tietoa sekä vaatii yleensä paljon aikaa (Smith ym. 1993; Vosniadou ym. 2008; DiSessa 2008). Virhekäsitysten korjaantuminen ei vaikuta tämänkään tutkimuksen valossa olevan helppoa, vaan siihen vaadittavat käsitteelliset muutokset saattavat jäädä opetuksestakin huolimatta usein tapahtumatta.

Tämän tutkimuksen perusteella vaikuttaa siltä, että virheellinen käsitys kasvista maaperästä energiaa saavana eliönä on käsitteellisen muutoksen kannalta erityisen ongelmallinen. Opetustekstin lukemisen jälkeenkin moni opiskelija vastasi että kasvit saavat energiaa maaperän ravinteista tai vedestä (Taulukko 6.9). Yhdellä opiskelijalla virhekäsitys ilmeni jälkimittauksessa ensimmäisen kerran. Virhekäsitys itsessään on tavallinen ja selittyy pitkälti oletuksella kasveista elämille analogisina ravintoa syövinä eliöinä (Barman ym. 2006; Inagaki & Hatano 2003). Suurin osa tämän tutkimuksen opiskelijoista vaikutti ymmärtävän yhteyttämisen periaatteen virhekäsityksestä huolimatta hyvin. Tilanne vastaa Vosniadoun ym. (2008) kuvaamaa esimerkkiä lapsilla havaitusta yhteyttämiseen liittyvästä synteettisestä mallista. Lapset, opittuaan kasvin saavan ravintonsa auringon valosta, hyväksyvät sekä vanhan virheellisen käsityksen ja uuden oikean käsityksen osaksi tietorakennettaan eivätkä tunnista ristiriitaa. Toinen kasvien energiaan liittyvä jälkimittauksessa säilynyt virhekäsitys oli yksittäinen käsitys, että kasvien energia sitoutuu viherhiukkasina lehtiin (Taulukko 6.9). Kyseinen virhekäsitys ei sellaisenaan esiinny yleisesti aiemmissä tutkimuksissa, mutta liittyy energian käsitteen ja varastoitumisen yleisenä pidettyyn puutteelliseen ymmärtämiseen (Koba & Tweed 2009).

Tässä tutkimuksessa havaittiin, että eräät energian virtauksen liittyvät virhekäsitykset lisääntyivät opetustekstin lukemisen jälkeen. Energian kiertämisestä kirjoitti jälkimittauksessa kolme sivuaineopiskelijaa, kaksi enemmän kuin esimittauksessa (Taulukko 6.10). Kyseessä on tuskin pelkkä terminologinen sekaannus, koska vastaukset eivät muutenkaan olleet tyydyttäviä. Energian virtaukseen liittyvien virhekäsitysten lisääntyminen kertoo ilmiön haastavuudesta. Opiskelijat ovat opetustekstiä lukiessaan selvästi saaneet uutta tietoa, mutta uutta tietoa ei ole kyetty mielekkäästi liittämään vanhoihin käsityksiin, vaan seurauksena on jopa uusia virhekäsityksiä sisältäviä synteettisiä malleja (Vosniadou ym. 2008). Näissä tapauksissa opetustekstin tieto ei ole auttanut opiskelijoita jäsentämään aiempaa tietoaan uudelleen kohti oikeaa mallia. Vaikuttaa siltä, että käsitteellisen muutoksen toteutumiseksi olisi tarvittu voimakkaampaa havahtumista vanhan tiedon virheellisyyteen sekä enemmän tavoitteellisuutta korjausten tekemiseen (Sinatra & Pintrich 2003).

Viivästetyn jälkimittauksen vastauksista nousi kaksi erityisen merkille pantavaa seikkaa: esimittauksen virhekäsitysten toistuminen ainoastaan viivästetyssä mittauksessa ja virhekäsitykset opiskelijoilla, joilla niitä ei aiemmin ollut. Esimittauksen virhekäsitykset yhteyttämisen sekoittamisesta soluhengitykseen sekä

eräät virhekäsitykset energian ohivirtauksen ymmärtämisestä toistuivat vasta kaksi viikkoa opetustekstin lukemisen jälkeen. Kyseisten opiskelijoiden käsitys ei todellisuudessa muuttunut oikeaksi, vaikka he välittömästi opetustekstin lukemisen jälkeen korjasivatkin vastauksiaan. Tulokset osoittavat, ettei käsitteellistä muutosta ole syytä pitää Posnerin (1982) teorian mukaisena hetkellisenä tapahtumana, joka toteutuu automaattisesti tiettyjen ehtojen täytyessä. Opiskelijat ovat mitä ilmeisemmin olleet tyytymättömiä esimittauksen vastaukseen ja pitäneet uutta tietoa uskottavana korjatessaan vastaustaan jälkimittauksessa. Kuitenkin kahden viikon päästä he ovat unohtaneet tai sivuuttaneet oikean tiedon siinä määrin, että ovat palanneet vanhoihin käsityksiinsä; käsitteellistä muutosta ei ole jälkimittauksen oikeista vastauksista huolimatta tapahtunut. Käsitteellisen muutoksen hitautta ja vaikeutta on pyritty selittämään korostamalla oppijan aktiivisen roolin ja motivaation merkitystä (Vosniadou 2007; Sinatra & Pintrich 2003). Sinatran ja Pintrichin (2003) mukaan oppijoiden henkilökohtaiset, esimerkiksi motivaatioon ja tunnepohjaiseen vastustamiseen liittyvät, erot vaikuttavat merkittävästi käsitteellisen muutoksen toteutumiseen. Tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että opetusteksti – selittävä tai törmäyttävä – ei ole kaikissa tapauksissa synnyttänyt opiskelijoissa käsitteelliseen muutoksen edellyttämää aktiivista prosessointia, vaikka esimittauksen vastauksen virheellisyys onkin tiedostettu ja osattu korjata. Opiskelijoiden motivaation ja muiden ominaisuuksien tutkiminen auttaisi selvittämään, voiko havaintoa selittää oppijan henkilökohtaisilla ominaisuuksilla, vai ovatko ilmiöiden haasteellisuus tai opetustekstin tehottomuus merkittävämpiä selittäviä tekijöitä.

Toinen mielenkiintoinen havainto viivästetyn jälkimittauksen tuloksissa on, että monen opiskelijan kohdalla virhekäsitykset ilmenevät tässä vaiheessa ensimmäisen kerran. Kyseiset virhekäsitykset liittyivät energian ottamiseen maaperästä, energian ohivirtaukseen, yhteyttämistuotteisiin, fotosynteesin tapahtumapaikkaan ja ilmarakojen toimintaan (Taulukko 6.11). Kaksi viikkoa opetustekstin lukemisen jälkeen ilmenneet virhekäsitykset kertovat siitä, että kyseisten opiskelijoiden tieto näitä aiheita koskien ei ole aiemminkaan ollut täysin varmaa. On mahdollista, että opetustekstin lukeminen herätti opiskelijoilla ristiriitaisia käsityksiä oman tiedon oikeellisuudesta, mutta he vastasivat silti jälkimittauksessa oikein opetustekstin pohjalta. Vosniadoun ym. (2008) käsitteellisen muutoksen teorian mukaisesti tulosta voi tulkita siten, että ristiriitaiset käsitykset omasta tiedosta ja opetustekstin tiedosta ovat kehittyneet synteettisiksi malleiksi vasta kaksi viikkoa opetustekstin lukemisen jälkeen. DiSessan (2008) teorian

mukaisesti tulosta voisi tulkita niin, että epävarma opiskelija on viivästetyssä jälkimittauksessa päätenyt väärään ratkaisuun ristiriitaisen tiedon tilannesidonnaisessa soveltamisessa. Joka tapauksessa vasta viivästetyssä mittauksessa ilmenneet virheet kertovat käsitteellisen tiedon muokkautumisen ja muuttumisen monimutkaisuudesta ja prosessimaisesta luonteesta. Yritettäessä selvittää ilmiöön tai asiaan liittyvää oppijan käsityksiä on otettava huomioon, että oikeatkaan käsitykset eivät välttämättä ole muuttumattomia, vaan käsitteellistä tietoa oli tarkasteltava osana oppijan jatkuvasti muokkautuvia tietorakenteita (Vosniadou ym. 2008; DiSessa 2008; Smith ym.1993)

## **8 Tulosten luotettavuus ja yleistettävyys**

Laadullisiin menetelmiin perustuvassa tutkimuksessa tulosten luotettavuuden tarkastelussa ei voida tavoitella tilastollisen tutkimuksen kaltaista ehdottomuutta ja tarkkuutta (Cohen ym. 2007, s. 134). Laadulliselta tutkimukselta ei edellytetä myöskään samanlaisia toistettavuuteen ja tulosten ristiriidattomuuteen liittyviä kriteerejä kuin tilastolliselta tutkimukselta (Metsämuuronen 2008, s. 53). Kuitenkin myös laadullisessa tutkimuksessa on tavoiteltava mahdollisimman suurta luotettavuutta. On tärkeää tehdä selväksi, miten tuloksiin on päädytty ja missä suhteissa tuloksilla väitetään olevan yleisempää merkitystä (Alasuutari 2011, s. 243). Laadullisen tutkimuksen tarkastelussa voidaan käyttää validiteetin ja reliabiliteetin käsitteitä, kun huomioidaan niiden eroavuudet tilastollisen tutkimuksen perinteessä käytettyihin vastaaviin käsitteisiin verrattuna (Cohen 2007, s. 134).

### **8.1 Validiteetti**

Perinteisen määrittelyn mukaan tutkimuksen validiteetin tarkoittaa tutkimuksen kykyä mitata ja tutkia sitä, mitä halutaan tutkia. Cohenin ym. (2007) mukaan laadullisen tutkimuksen validiteetti on kuitenkin monipuolisempi käsite, jolla kuvataan esimerkiksi tutkimuksen rehellisyyttä, syvyyttä, rikkautta, aineiston valinnan onnistumista, tutkimuskysymyksiin vastaamista, käytettyjen menetelmien monipuolisuutta ja tutkijan puolueettomuutta aineiston tulkinnassa. Tutkimuksen tulokset ovat todellisuuden tulkinta, joka on pyrittävä osoittamaan luotettavaksi.

Validiteettiä voidaan tarkastella sisäisenä ja ulkoisena validiteettina (Cohen ym. 2007). Tutkimuksen sisäinen validiteetti kuvaa aineiston analyysistä saatujen tuloksien ja niistä tehtyjen tulkintojen paikkansapitävyyttä suhteessa aineistoon. Tässä tutkimuksessa opiskelijoiden vastauksista etsittyjen virhekäsitysten todenmukaisuus on tarkistettu alkuperäisistä vastauksista suurelta osin kahden tutkijan toimesta (ks. Södervik ym. 2015). Aineiston käsittelyssä on pyritty erottamaan selkeät virhekäsitykset ja epämääräisemmät puutteelliset käsitykset niin tulosten esittelyssä kuin tarkastelussakin. Havaitut virhekäsitykset ovat samankaltaisia kansainvälisessä tutkimuksessa havaittujen virhekäsitysten kanssa, mikä osaltaan osoittaa havaittujen virhekäsitysten olevan todellisia lisäten tutkimuksen sisäistä validiteettia. Tuloksien luokittelun perustelemiseksi kaikki luokkaan kuuluvat virhekäsitykset on kuvattu (Liite 2), joten luokittelun perusteet ovat lukijan nähtävissä. Virhekäsitysluokkien ja joidenkin yksittäisten virhekäsitysten esiintyvyys aineistossa on kuvattu numeerisesti aineiston ja virhekäsitysluokkien havainnollistamiseksi. Virhekäsityksistä ja niiden muuttumisesta on esitetty otteita aineistosta silloin, kun sanallinen kuvaaminen ei ole ollut yksiselitteistä. Myös tuloksista tehtyjä tulkintoja on perusteltu esimerkeillä aineistosta. Virhekäsitysten osuuksien ja niiden muuttumisen esittäminen antaa osaltaan tukea tärkeimmille tulkinnoille.

Ulkoinen validiteetti tarkoittaa tutkimusten tulosten yleistettävyyttä aineistoa laajempaa populaatioon tai aineiston ja tutkimuksen kontekstin ulkopuolisiin tapauksiin ja tilanteisiin (Cohen ym. 2007). Laadullisessa tutkimuksessa ei voida eikä ole tarkoitus saavuttaa tilastollista yleistettävyyttä laajempaan populaatioon. Sen sijaan voidaan puhua tulosten ja tulkintojen vertailtavuudesta ja siirrettävyydestä. Tulokset on esitettävä selkeästi ja riittävän yksityiskohtaisesti, niin että lukija voi itse arvioida, kuinka ainutkertainen ilmiö on kyseessä, ja voiko tulkintoja ulottaa koskemaan aineiston ulkopuolisia ryhmiä. Alasuutarin (2001, s. 237) mukaan laadullisen tutkimuksen kohteeksi pyritään lähtökohtaiseksi valitsemaan ilmiö, jonka suhteen yleistäminen ei ole ongelma. Tutkimuksessa on siten olennaista keskittyä ilmiön selittämiseen ja ymmärtämiseen. Tärkeää on kuitenkin tehdä selväksi, millä tavalla tuloksilla väitetään olevan yleisempää merkitystä.

Tämän tutkimuksen aineisto ( $n=171$ ) koostui yliopiston peruskurssille osallistuneista biologian pääaine- ja sivuaineopiskelijoista. Tutkimuksen aineistossa havaittujen virhekäsitysten määrällistä yleisyyttä ei voida yleistää laajempaan populaatioon. Sen sijaan tutkimus kohdistui fotosynteesiä koskevien virhekäsitysten ja niiden muuttumisen

laadulliseen tarkasteluun käsitteellisen muutoksen näkökulmasta. Tutkimuksessa kuvattujen virhekäsitysten voi olettaa esiintyvän myös aineiston ulkopuolella. Koska tutkimuksen opiskelijat ovat opiskelleet biologiaa pääosin joko suomalaisen peruskoulun oppimäärän tai enemmän, on oletettavaa, että tutkimuksessa kuvattuja virhekäsityksiä on ainakin pelkän peruskoulun käyneillä suomalaisilla. Havaitut virhekäsitykset olivat samantyyppisiä kuin aiemmassa tutkimuksessa havaitut fotosynteesiä koskevat virhekäsitykset, mikä myös osoittaa Alasuutarin (2011, s. 245) mukaan tulosten ja tulkintojen olevan sisällöllisesti yleistettävissä aineistoa yleisemmällä tasolla.

Tutkimuksen tuottamaa tietoa fotosynteesiä koskevista virhekäsityksistä ja niiden muuttumisesta voidaan siis tarkastella yleisenä ilmiönä. Tuloksista tehtyjä tulkintoja voidaan soveltaa sekä peruskoulun, lukion että yliopiston kontekstissa fotosynteesin oppimisen ja opettamisen kehittämisessä. Opetuksen kehittäminen ja tehokkaan oppimisen tukeminen eivät edellytä tarkkojen virhekäsitysmäärien selvittämistä. Tutkimuksen ja sen tulosten soveltamisen ja hyödyntämisen käytännön toiminnassa voidaan katsoa lisäävän tutkimuksen validiteettia ja perusteltavuutta (Cohen ym. 2007, 140). Oppimisen tutkimuksen vaikuttavuutta käytännön opetuksen kehittymiselle on usein kritisoitu pieneksi (White & Gunstone 2008). Whiten ja Gunstonen (2008) mukaan kuitenkin juuri virhekäsityksiä ja käsitteellistä muutosta koskeva tutkimus on osoittautunut olevan suhteellisen hyvin hyödynnettävissä käytännön opetuksessa muun muassa kouluympäristöihin soveltuvan toistettavuutensa vuoksi.

Eräs tutkimuksen validiteettiin liittyvä keskeinen käsite on triangulaatio, jolla tarkoitetaan yksinkertaistettuna sitä, että aineiston keräämisessä tai käsittelyssä käytetään kahta tai useampaa erilaista menetelmää, esimerkiksi laadullista ja tilastollista analyysiä (Cohen ym. 2007, 141). Tällä tavoin voidaan pienentää riskiä yksittäisen menetelmän rajoittamista tai vääristämistä tuloksista ja lisätä tutkimuksen validiteettia. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin laadullisesti erilaisten opetustekstien vaikutuksia sivuaineopiskelijoiden virhekäsityksiin, joiden oletettiin toisaalla tehdyn tilastollisen analyysin tulosten perusteella vähentyneen enemmän törmäyttävän opetustekstin kuin selittävän opetustekstin lukeneilla opiskelijoilla (Södervik ym. 2015). Laadullinen analyysi ei tuottanut kyseisessä kysymyksessä tilastollista analyysiä tukevia tuloksia, joten menetelmällisen triangulaation voidaan ajatella kyseenalaistaneen tilastollisen analyysin tuloksia. Toisaalta voidaan ajatella virhekäsityksiin keskittyneen laadullisen analyysin olleen tässä tapauksessa kykenemätön tavoittamaan tilastollisessa analyysissä

havaittua muutosta sivuaineopiskelijoiden käsitysten muuttumisessa. Triangulaatio voidaan ymmärtää myös pelkkää tutkimusmenetelmien yhdistämistä monipuolisemmin (Cohen ym. 2007, 142). Teoreettisella triangulaatiolla viitataan useampien teoreettisten näkökulmien hyödyntämiseen. Tässä tutkimuksessa tulosten tulkinta on liitetty käsitteellisten muutoksen teorioihin monipuolisesti ja ottaen huomioon myös toisistaan poikkeavia teoreettisia näkökulmia.

## 8.2 Reliabiliteetti

Laadullisessa tutkimuksen reliabiliteetti voidaan yksinkertaistettuna kuvata tutkimusaineiston luotettavuudeksi ja paikkansapitävyydeksi suhteessa tutkimuksen kohteena olevaan todelliseen tilanteeseen (Cohen ym. 2007, 149). Reliabiliteetti kuvaa kerätyn aineiston tarkkuutta, kattavuutta ja totuudenmukaisuutta. Reliabiliteetin tarkastelua ei voida irrottaa laadullisen tutkimuksen kokonaisuudesta, ja se limittyy myös aineiston keruun ja käsittelyn taustaoletuksiin ja tutkimuksen validiteettiin. Tutkimuksen reliabiliteetti on edellytys tutkimuksen sisäiselle validiteetille; jos kerätty aineisto ei vastaa todellisuutta, ei aineistosta saatuja tuloksia ja niiden tulkitsemistakaan voida liittää todellisuuden ilmiöön. Kaiken tutkimuksen tavoin myös laadullisen tutkimuksen on reliabiliteetin toteutumiseksi pyrittävä määrittelemään tutkimuskohde ja menetelmät mahdollisuuksien mukaan siten, että tutkimus on toistettavissa tai vertailtavissa vastaaviin tutkimuksiin.

Tämän tutkimuksen aineisto on kerätty testillä, jossa opiskelijat vastaavat fotosynteesiä koskeviin avoimiin kysymyksiin. Reliabiliteetti tarkoittaa ennen kaikkea sitä, miten hyvin kerätty aineisto kuvaa opiskelijoiden todellista ymmärrystä ja todellisia virhekäsityksiä. Keskeisimpiä reliabiliteettia uhkaavia tekijöitä ovat testitilanteeseen liittyvät tekijät sekä testin sisältöön ja kysymyksiin liittyvät tekijät. Testitilanne muistutti luonteeltaan koulu- ja opiskeluyhteyksistä tuttuja koe- ja tenttitilanteita, eikä sen voi olettaa vaikuttaneen opiskelijoiden suorituksiin merkittävästi. Opiskelijat tiesivät osallistuvansa tutkimukseen, jolla pyritään edistämään opetusta ja oppimista. Vastaaminen tapahtui luennoilla normaalin opetusajan puitteissa. Lisäksi kysymysten aihe liittyi oleellisesti kurssilla opiskeltaviin ja tentittäviin asioihin. Näiden seikkojen perusteella voidaan olettaa, että opiskelijat olivat motivoituneita vastaamaan kysymyksiin ja vastauksissaan rehellisiä.

Opiskelijoiden virhekäsityksiä selvitettiin avointen kysymysten avulla. Lähes kaikki aineistosta havaitut virhekäsitykset olivat samankaltaisia aiempien tutkimusten havaintojen kanssa, mikä osoittaa kysymysten kohdistuneen fotosynteesin ymmärtämisen kannalta oleellisiin asioihin. Erityisesti fotosynteesin ekologista merkitystä käsiteltiin useassa kysymyksessä, mikä kasvatti aineiston tarkkuutta tältä osin. Eräs kysymysten muotoilun kannalta pohdinnan arvoinen seikka on termien fotosynteesi ja yhteyttäminen käyttö. Testin kysymyksissä puhuttiin fotosynteesin sijaan yleisemmin yhteyttämisestä tarkoittaen kuitenkin nimenomaan fotosynteesiä. Muutamat opiskelijat myös ottivat vastauksissaan kantaa käsitteiden käyttöön. Yhteyttäminen on koulukontekstissa usein synonyymisenä käsitteenä fotosynteesille, ja usein ensimmäinen auringon valoenergian käyttöä kuvaava termi (POPS 2004, s. 170–182). Voidaan olettaa, että jos vastaaja ei muista tai ymmärrä yhteyttämisestä, ei hän todennäköisesti osaa sen paremmin fotosynteesi-käsitteäkään. Tiedon soveltamisen ja siihen liittyvien virhekäsitysten kannalta on riittävää ymmärtää ilmiö sisällöllisesti, eikä kahden käsitteen erojen tietäminen ole tärkeää.

Tutkimuksen reliabiliteettia, ja myös validiteettia, olisi voinut lisätä käyttämällä avointen kysymysten lisäksi opiskelijoiden ymmärryksen kartoittamiseen haastatteluja. Haastatteluiden avulla olisi ollut mahdollista varmistaa epämääräisten käsitysten virheellisyys ja saada tarkempaa tietoa käsitysten muuttumisesta. Aineistosta saatuja tuloksia tarkastellessa ja tulkitessa on kuitenkin huomioitu aineiston rajallisuus, ja epäselvissä tapauksissa opiskelijoiden käsityksiä ei ole laskettu virheellisiksi. Tässä suhteessa on pyritty ennen kaikkea välttämään niin kutsuttuja I tyypin virheitä, joissa aineistosta tehdään tutkittavan ilmiön kannalta oleellisia, mutta virheellisiä tulkintoja (Cohen ym. 2007, 145). Tutkimus täyttää varsin hyvin reliabiliteetin vaatimukset toistettavuuden osalta. Aineiston keruussa ei ole sellaista tilannesidonnaisuutta, joka vaikuttaisi mahdollisen uusintamittauksen tuloksiin ja niiden tulkintaan, kun otetaan huomioon tutkimuksen tavoite tarkastella virhekäsityksiä ja niiden muuttumista sisällöllisellä tasolla.



## 9 Johtopäätökset

Biologian opetuksen keskeisimpiä tavoitteita suomalaisessa koulussa on oppilaan myönteisen ympäristösuhteen kehittyminen (POPS 2004, s. 170, 176, 180). Myönteisen ja vastuullisen ympäristösuhteen kehittymisen katsotaan edellyttävän kognitiivisia tietoja ja taitoja, joiden avulla oppilas voi ymmärtää ja jäsentää ympäristöään ja sen ilmiöitä sekä rikastuttaa ympäristökokemuksiaan (Eloranta 2005). Fotosynteesin kannalta tässä suhteessa keskeistä on ymmärtää valoenergian muuttuminen kasvien kemialliseksi energiaksi ja edelleen ravintoketjujen energiaksi. Tämän ymmärtämällä oppilaat voivat ymmärtää fotosynteesin merkityksen ympäristössään ja elämässään ja oppia soveltamaan ekologisia tietojaan erilaisissa ympäristöön liittyvissä ratkaisuisissa.

Tämän tutkimuksen perusteella peruskoulun ja jopa lukion biologianopetuksen jälkeen monella opiskelijalla on erilaisia virhekäsityksiä yhteyttämiseen liittyen. Virhekäsitysten johdosta joiltakin opiskelijoilta puuttuu fotosynteesin liittyvä kokonaisvaltainen ja soveltamisen kannalta keskeinen ymmärrys. Virhekäsitysten ja puutteellisen tiedon taustalla voi käsitteellisen muutoksen teorioiden mukaan olla oppimisessa vaadittavien käsitteellisten muutosten puute (mm. Vosniadou ym. 2008; DiSessa 2008). Käsitteellisen muutoksen periaatteiden mukaan voidaan tulkita, että kouluopetuksen aikana oppilaiden fotosynteesiä koskevat käsitykset eivät ole muuttuneet tai jäsentyneet riittävässä määrin tieteellistä mallia vastaaviksi. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että biologian opetus ei ole ollut fotosynteesin suhteen määrällisesti tai laadullisesti riittävää keskeisten tavoitteiden toteutumiseksi kaikkien oppilaiden kohdalla.

Virhekäsityksiä on mahdollista oikaista ja niiden muodostumista ehkäistä. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että monet opiskelijoiden virhekäsitykset korjaantuivat ainakin osittain melko yksinkertaisella keinolla, opetustekstillä. Erityisesti fotosynteesin ekologiseen merkitykseen ja korkeampiin ajattelutaidon tasoihin liittyvien virhekäsitysten korjaantuminen oli opetuksen vaikuttavuuden kannalta rohkaiseva tulos. On tärkeää pohtia, miten biologian opetusta voitaisiin kehittää sellaiseksi, että fotosynteesiin liittyvien käsitteellisten muutosten tapahtuminen helpottuisi mahdollisimman paljon. Käsitteellisen muutoksen prosessin monimutkaisuuden, hitauden ja sosiaalisen ulottuvuuden tarkastelu antaa tähän lukuisia opetuksessa sovellettavia näkökulmia ja keinoja.

Käsitteitä ja ilmiöitä opittaessa ja opettaessa on tärkeää, että oppija ja opettaja kiinnittävät huomion juuri opiskeltavan ilmiön kannalta keskeisiin käsitteellisen muutoksen tarpeisiin. Tämän tutkimuksen perusteella fotosynteesiin liittyvän oppimisen yhtenä merkittävänä ongelmana vaikuttaa olevan vaikeus yhdistää fotosynteesireaktio kasvien rooliin ravintoketjussa ja ravintoketjujen energiaan. Tämän yhteyden ymmärtämiseksi oppijan on itse havaittava ajattelunsa ristiriitoja ja puutteita siinä, miten hän ymmärtää energian siirtymisen auringosta ravintoverkkoihin. Tulosten perusteella keskeisiä virhekäsityksiä, joihin opetuksessa tulisi kiinnittää huomiota, ovat ainakin fotosynteesin sekoittaminen soluhengitykseen sekä virhekäsitys maaperästä kasvien ravinnonlähteenä.

Yksi merkittävä este fotosynteesin ja kasvin ravinnon yhteyden ymmärtämiselle on jo lapsena saatujen arkikokemusten perusteella muodostunut käsitys kasvista maaperän ravintoa syövästä eliönä (Hatano & Inagaki 2003; Vosniadou ym. 2008). Fotosynteesin opetuksessa pitäisi esimerkiksi kasvien tarkkailun ja yksinkertaisten kasvatuskokeiden avulla pyrkiä herättämään kysymys auringonvalon ja kasvien kasvun yhteydestä ja vähitellen kyseenalaistaa virhekäsitys maaperästä energianlähteenä. Käsitteellisen muutoksen teorioiden mukaan oikean tiedon oppimisen perustana on, että oppijat kykenevät vertaamaan keskenään omaa käsitystään ja tieteellistä käsitystä siitä, mistä ruoan energia on peräisin ja miten se on ruokaan kulkeutunut. Myöhemmilläkin luokilla fotosynteesin opetuksessa on tärkeää korostaa auringon ja ravintoketjujen välistä yhteyttä. Ilman tätä korostusta on vaarana, että fotosynteesi ymmärretään liian kapea-alaisesti kasvien oman energian tai vain hapen tuottamisen ilmiöksi, jolla ei ole laajempaa merkitystä (Özay & Öztas 2002). Tällöin myös fotosynteesin sekoittaminen soluhengitykseen on todennäköisempää.

Monenlaiset menetelmät, esimerkiksi ryhmäkeskustelut ja erilaisten käsitysten vertaaminen saattavat johtaa virhekäsitysten huomaamiseen. Ristiriitojen havaitseminen ja kognitiivisten konfliktien kokeminen eivät kuitenkaan automaattisesti johda tiedon korjaantumiseen (Duit 2008; Vosniadou ym. 2008; Hatano & Inagaki 2003), mikä havaittiin tässäkin tutkimuksessa. Käsitteellinen muutos on pitkäkestoinen prosessi, ja hetkellisesti korjaantuneet käsitykset eivät tarkoita pysyvää oppimista. Oppijalla on oltava riittävästi motivaatiota pohtia käsityksiään, muuttaa niitä aktiivisesti ja sitoutua oikean tiedon ymmärtämiseen. Laadukas fotosynteesin opetus onkin syytä nähdä kokonaisvaltaisena prosessina, jossa käsitteellistä muutosta vaativien ristiriitojen tiedostamista voidaan pitää olennaisena lähtökohtana (Hatano & Inagaki 2003).

Oppilaan aktiivisuuden ja motivaation kanalta on keskeistä kiinnittää suurta huomiota oppimisen sosiaaliseen ulottuvuuteen. Opettajan vastuulla on synnyttää ilmapiiri, jossa oppijat jakavat yhteisen tavoitteen oppia ja ymmärtää asioita (Hatano & Inagaki 2003).

Käsitteellisen muutoksen haasteiden huomioiminen opetuksessa ei ole itsestään selvää. Suomalaisen peruskoulun ja lukion opetussuunnitelman perusteissa (POPS 2004, s.18; LOPS, s. 14) oppimiskäsitys kuvataan konstruktivistiseksi ja oppiminen opittavan tiedon käsittelyksi aiempien tietorakenteiden pohjalta. Myös oppimisen tilannesidonnaisuutta ja sosiaalisen vuorovaikutuksen merkitystä korostetaan. Käsitteellisen muutoksen näkökulmaa aiemman tiedon ja uuden tiedon väliseen yhteensovittamisen vaikeuteen ei kuitenkaan erikseen mainita. Biologian oppiainekohtaisissa ja opetussisällöllisissä kuvauksissa käsitteellisen tiedon oppimisen haasteita ei niin ikään tuoda esiin, ja opettajan vastuulle jää pohtia käsitteellisen muutoksen haasteita yksittäisten ilmiöiden, kuten fotosynteesin opettamisessa. Käsitteellisen muutoksen yleisesti tunnustettujen periaatteiden ymmärtäminen voisi auttaa opetuksen kehittämisessä. Whiten ja Gunstonen (2008) mukaan juuri virhekäsityksiä ja käsitteellistä muutosta koskeva tutkimus on osoittautunut olevan suhteellisen hyvin hyödynnettävissä käytännön opetuksessa. Mutta kuten Duit (2008) toteaa, opettajien konstruktivistisen opetuksen periaatteita koskevassa tiedossa on koulutuspyrkimyksistä huolimatta usein sellaisia puutteita ja syvään juurtuneita näkemyksiä, joiden muuttuminen itsessään vaatisi käsitteellisiä muutoksia.

Tässä tutkimuksessa havaittiin, että useimmilla niistäkin opiskelijoista, joilla oli vaikeuksia yhdistää toisiinsa Auringon energia ja ravintoketjujen energia, oli yleensä myös oikeaa tietoa fotosynteesistä ja kasveista tuottajina. Myös monen muun puutteellisen tai virheellisen käsityksen kohdalla havaittiin, että opiskelijoilla on paljon oikeaa tietoa, jota he kuitenkin ilmaisevat ilmaistaan epäselvästi ja jopa ristiriitaisesti. Tulokset kertovat opiskelijoiden vaikeuksista yhdistää opittua tietoa eheiksi kokonaisuuksiksi. Havaintoa voidaan selittää tiedon ja oppimisen tilannesidonnaisesta näkökulman avulla: oppija saattaa käsitellä eri tilanteissa opittua tietoa liian erilaisista lähtökohdista, että tiedon yhdistäminen ei onnistu (Sfard 1998). Tämän tutkimuksen tulokset osaltaan osoittavat, kuinka tärkeää opetuksessa olisi käsitellä oppilaiden erilaisiin arkikokemuksiin perustuvaa tietoa sekä eri yhteyksissä opittua tieteellistä tietoa sellaisella tavalla, että niiden vertaaminen, yhdistäminen ja soveltaminen erilaisissa tilanteissa olisi mielekästä. Näin voitaisiin ehkäistä tiedon yhdistämisessä

helposti muodostuvia virheellisiä malleja (Vosniadou 2007b), ja opittavan tiedon soveltaminen eri tilanteissa olisi helpompaa (DiSessa 2008; Duit 2008).

Tämän tutkimuksen perusteella monimutkaisiin ja korkeampia tiedon ja ajattelutaitojen tasoja edustaviin ilmiöihin liittyvien virhekäsitysten korjautuminen ei ole sen vaikeampaa kuin muidenkaan virhekäsitysten. Opetuksessa on näin ollen kiinnitettävä huomiota siihen, että monimutkaisina tai laajaa ymmärrystä vaativina pidettäviä asioita ei turhaan pidetä vaikeasti opittavina. On syytä pohtia, miten fotosynteesin opetuksessa tulisi sisällöllisesti edetä, jotta ilmiö ymmärrettäisiin sekä ekologisessa että fysiologisessa mittakaavassa mahdollisimman varhain, eivätkä merkittävimmät virhekäsitykset säilyisi ja vahvistuisi peruskoulun aikana. Yksinkertaisista asioista näennäisesti monimutkaisempiin etenevällä opetuksella on vaaransa, kun otetaan huomioon käsitteellisen muutoksen haasteet. Usein yksinkertaisiksi käsitteiksi mielletään sellaiset käsitteet, jotka ovat lähempänä lasten intuitiivista ymmärrystä (Vosniadou ym. 2008). Tällöin on Vosniadoun ym. (2008) mukaan vaarana, että opetuksessa vahvistetaan aiempia puutteellisia tai virheellisiä malleja ja kasvatetaan kynnystä oppia myöhemmin opetettavia monimutkaisempia tieteellisiä käsitteitä. Tästä näkökulmasta ja tämän tutkimuksen tulosten perusteella fotosynteesin opetuksessa ei ole syytä välttää yhteyttämisreaktion ekologisen merkityksen pohtimista opetuksen aikaisessa vaiheessa. Jopa haastavat käsitteet kuten energian ohivirtaus voidaan huomioida opetuksessa aikaisin, sikäli kuin ne liittyvät lasten arkikokemuksista viriävään ymmärrykseen ja olemassa oleviin virhekäsityksiin. Opetussuunnitelmia kehittäessä yksinkertaisesta monimutkaiseen etenevää opetusta tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää fotosynteesin kaltaisissa ilmiöissä, joissa myöhempää oppimista haittaavat yksinkertaisiin malleihin liittyvät virhekäsitykset ovat yleisiä. Nykyisissä opetussuunnitelmissa vuosiluokilla 1–4 opitaan ruoan alkuperästä (POPS 2004, s. 170–172). Jo tässä vaiheessa olisi tarpeellista saada lapset pohtimaan kasvien ravinnon alkuperää, auringonvaloa ja maaperän ravinteita ekologisen kokonaisuuden kannalta.

Tässä tutkimuksessa saatiin tarkkaa tietoa fotosynteesiin liittyvistä virheellisistä ja puutteellisista käsityksistä ja niiden muuttumisesta. Menetelmänä avoimien kysymysten käyttö takasi rikkaan ja yksilöitävän aineiston. Joidenkin vastausten ja puutteellisten käsitysten kohdalla opiskelijoiden ajatteluprosessien tarkempi selvittäminen esimerkiksi haastatteleamalla olisi tarpeen virhekäsitysten tilannesidonnaisuuden ja korjaantumisen edellytysten ymmärtämiseksi. Myös opiskelijoiden sitoutuneisuuden ja motivaation tarkasteleminen suhteessa opetustekstin lukemisen aiheuttamiin käsitteellisiin

muutoksiin on tärkeä jatkotutkimusten kohde. Opetusteksti itsessään on yksinkertainen ja melko rajattuihin kognitiivisiin prosesseihin liittyvä opetuksellinen interventio. Laajemmin oppimisen kognitiivisiin ja sosiaalisiin tekijöihin vaikuttava kokeellinen opetusmuutos olisi jatkossa keskeinen keino tutkia käsitteellisen muutoksen haasteet huomioivan opetuksen vaikutuksia fotosynteesin oppimiseen.

Tämä tutkimus on osaltaan esimerkki siitä, kuinka runsasta ja tarkkaa tietoa opiskelijoiden käsityksistä ja tiedoista voi saada. Myös opettaja voi vastaavasti pyrkiä aktiivisesti selvittämään oppilaidensa käsityksiä ja hyödyntämään saamaansa tietoa käsitteellisen muutoksen edistämiseksi opetuksessa. Opiskelijoiden käsitysten arviointi, kaikissa opetuksen vaiheissa, tulisi olla luonnollinen osa opettajan työtä. Tarkoituksenmukainen arviointi antaa opettajalle tärkeää palautetta opetuksen onnistumisesta, mutta ainakin yhtä tärkeää on oppilaan itsensä mahdollisuus saada tietoa oppimisestaan (Virtanen ym. 2015). Oppimalla arvostamaan tietoa omasta ymmärryksestään ja sen kehittymisestä oppijat oppivat myös paremmin näkemään mahdollisuuksia kehittää tietoaan ja tarpeita korjata sitä (Halldén ym. 2008). Parhaimmillaan ja taitavasti toteutettuna oppilaiden virhekäsitysten selvittäminen voi sekä auttaa havaitsemaan käsitteellisen tiedon kannalta keskeisiä ongelmakohtia että herättää oppijoissa käsitteellisiin muutoksiin vaadittavaa aktiivisuutta ja sitoutuneisuutta.

## KIRJALLISUUS

- Ahopelto, I., Mikkilä-Erdmann, M., Anto, E. & Penttinen, M. 2011. Future elementary school teachers' conceptual change concerning photosynthesis. *Scandinavian Journal of Educational Research* 55: 503–515.
- Alasuutari, P. 2011. *Laadullinen tutkimus 2.0*. Tampere: Vastapaino. 317 s.
- Alverman, D. E. & Hague, S. A. 1989. Comprehension of counterintuitive science text: effects of prior knowledge and text structure. *Journal of Educational Research* 82: 197–202.
- Amir, R. & Tamir, P. 1994. In-depth analysis of misconceptions as a basis for developing research-based remedial instruction: the case of photosynthesis. *The American Biology Teacher* 56: 94–100.
- Anderson, J. R., Reder, L. M. & Simon, H. 1997. Situative versus cognitive perspectives: Form versus substance. *Educational Researcher* 26: 18–21.
- Anderson, L. W. (toim.), Krathwohl, D. R. (toim.), Airasoan P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J. & Wittrock, M. C. 2001. *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York: Longman. 302 s.
- Arabatzis, T. & Kindi, V. 2008. The Problem of Conceptual Change in the Philosophy and History of Science. Teoksessa Vosniadou, S. (toim.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge, 3–34.
- Ariasi, N. & Mason, L. 2011. Uncovering the effect of text structure in learning from a science text: An eye-tracking study. *Instructional Science* 39: 581–601.
- Ausubel, D. P. 1968. *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Barman, C.R., Stein, M., McNair, S. & Barman N.S. 2006. Students' ideas about plants & plant growth. *The American Biology Teacher* 68: 73–79.
- Bloom, B. S. (toim.), Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H., & Krathwohl, D. R. 1956. *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook 1: Cognitive domain*. New York: David McKay. 196 s.
- Boyes, E. & Stanisstreet, M. 1991. Misconceptions in first-year undergraduate science students about energy sources for living organisms. *Journal of Biological Education* 25: 209–213.
- Braasch, J. L. G., Goldman, S. R. & Wiley J. 2013. The influences of text and reader characteristics on learning from refutations in science texts. *Journal of Educational Psychology* 105: 561–578.

- Broughton, S. H., Sinatra, G. M. & Reynolds, R. E. 2010. The nature of the refutation text effect: an investigation of attention allocation. *The Journal of Educational Research* 103: 407–423.
- Bryce, T. & MacMillan, K. 2005. Encouraging conceptual change: the use of bridging analogies in the teaching of action–reaction forces and the ‘at rest’ condition in physics. *International Journal of Science Education* 27: 737–763.
- Carey, S. & Spelke, E. 1994. Domain-specific knowledge and conceptual change. Teoksessa Hirschfeld, L. & Gelman, S. (toim.) *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture*. Cambridge, MA: Cambridge University Press, 169–200.
- Chan, C., Burtis, J. & Bereiter, C. 1997. Knowledge building as a mediator of conflict in conceptual change. *Cognition and Instruction* 15: 1–40.
- Chi, M. T. H. 2008. Three Types of Conceptual Change: Belief Revision, Mental Model Transformation, and Categorical Shift. Teoksessa Vosniadou, S. (toim.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge, 61–82.
- Chi, M. T. H. & Roscoe, R. 2002. The Processes and Challenges of Conceptual Change. Teoksessa Limón, M. & Mason, L. (toim.) *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice*. Dordrecht: Kluwer, 3–27.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D. & de Leeuw, N. 1994. From Things to Processes: A Theory of Conceptual Change for Learning Science Concepts. *Learning and Instruction* 4, 27–43.
- Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. 2007, *Research Methods in Education*. London: Routledge. 638 s.
- DiSessa, A. A. 2008. A bird’s-eye view of the “pieces” vs. ”coherence” controversy (from the ”pieces” side of the fence). Teoksessa Vosniadou, S. (toim.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge, 35–60.
- DiSessa, A. A., Gillespie, N. M. & Esterly, J. B. 2004. Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science* 28: 843–900.
- DiSessa, A. A. 1993. Toward an epistemology in physics. *Cognition and Instruction* 10: 105–225.
- Duit, R., Treagust, D. & Widodo, A. 2008. Teaching science for conceptual change: theory and practice. Teoksessa Vosniadou, S. (toim.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge, 629–646.
- Duit, R., Widodo, A. & Wodzinski, C. T. 2007. Conceptual change ideas – Teachers’ views and their instructional practice. Teoksessa Vosniadou, S., Baltas, A. & Vamvokoussi, X. (toim.) *Re-framing the Conceptual Change Approach in Learning and Instruction*. Amsterdam (The Netherlands): Elsevier, 197–217.

- Eisen, Y. & Stavy, R. 1988. Students' understanding of photosynthesis. *The American Biology Teacher* 50: 208–212.
- Eloranta, V. 2005. Miksi opettaa ja opiskella biologiaa?. Teoksessa Eloranta, V., Jeronen, E. & Palmberg, I. (toim.) *Biologia eläväksi: Biologian didaktiikan käsikirja*. Jyväskylä: PS-kustannus, 17–45.
- Guezzetti, B. J., Williams, W. O., Skeels, S. A. & Wu, S. M. 1997. Influence of text Structure on learning counterintuitive physics concepts. *Journal of Research in Science Education* 34: 701–719.
- Guzzetti, B. J., Snyder, T. E., Glass, G. V. & Gamas, W. S. 1993. Promoting conceptual change in science: a comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education. *Reading Research Quarterly* 28: 116–159.
- Gelman, R. 1990. First principles organize attention to and learning about relevant data: Number and animate–inanimate distinction as examples. *Cognitive Science* 17: 79–106.
- Greeno, J. G., Collins, A. M. & Resnick, L. B. 1996. Cognition and learning. Teoksessa Berliner, D. C. & Calfee R. C. (toim.) *Handbook of Educational Psychology*. New York: Macmillan. 15–46.
- Hakkarainen K., Lonka, K & Lipponen, L. 2004. *Tutkiva oppiminen – Järki, tunteet ja kulttuuri oppimisen sytyttäjinä*. Helsinki: WSOY. 416 s.
- Halldén, O., Scheja, M. & Haglund, L. 2008. The contextuality of knowledge: An intentional approach to meaning making and conceptual change. Teoksessa Vosniadou, S. (toim.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge, 509–532.
- Hatano, G. & Inagaki, K. 2003. When is conceptual change intended? A cognitive-sociocultural view. Teoksessa Sinatra, G. M. & Pintrich, P. R. (toim.) *Intentional Conceptual Change*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 407–428.
- Hutchins, E. 1995. *Cognition in the wild*. Cambridge, MA: MIT Press. 381 s.
- Hynd, C. 2003. Conceptual change in response to persuasive messages. Teoksessa Sinatra, G. M. & Pintrich, P. R. (toim.) *Intentional Conceptual Change*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 291–316.
- Inagaki, K. & Hatano, G. 2003. Conceptual and linguistic factors in inductive projection: How do young children recognize commonalities between animals and plants? Teoksessa Gentner, D. & Goldin-Meadow, S. (toim.) *Language in Mind*. Cambridge: MIT Press, 313–333.
- Ioannides, C & Vosniadou S. 2002. The changing meanings of force. *Cognitive Science Quarterly* 2: 5–62.



- Jeronen, E. 2005. Biologian opetus ja sen suunnittelu. Teoksessa Eloranta, V., Jeronen, E. & Palmberg I. (toim.) *Biologia eläväksi, biologian didaktiikka*. Jyväskylä: PS-kustannus, 47–92.
- Jones, M. G. & Carter, G. 1998. Small Groups and Shared Constructions. Teoksessa Mintzes, J. J., Wandersee, J. H. & Novak, J. D. (toim.) *Teaching Science for Understanding*. San Diego: Academic press, 261–279.
- Kintsch, W. 1988. The role of knowledge in discourse comprehension: a construction-integration model. *Psychological Review* 95: 163–182.
- Koba, S. & Tweed, A. 2009. *Hard-to-teach biology concepts: a framework to deepen student understanding*. Arlington, Virginia: NSTApress (National Science Teachers Association). 260 s.
- Krathwohl, D. A. 2002. A revision of Bloom's taxonomy: an overview. *Theory into Practice* 41: 212–218.
- Leeuw, N. de 1993. Students' beliefs about the circulatory system: are misconceptions universal? Teoksessa Proceedings of the 15th Annual Conference of the Cognitive Science Society. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 389–393.
- Limón, M. & Carretero, M. 1999. Conflicting data and conceptual change in history experts. Teoksessa Schnotz, W., Vosniadou S. & Carretero, M. (toim.) *New Perspectives on Conceptual Change*. Amsterdam (The Netherlands): Elsevier, 137–160.
- Lin, C-Y & Hu, R. 2010. Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis, and respiration. *International Journal of Science Education* 25: 1529–1544.
- LOPS 2003 – *Lukion opetussuunnitelman perusteet*. 2003. Helsinki: Opetushallitus.
- Marmaroti, P & Galanopoulou, D. 2007. Pupils' understanding of photosynthesis: a questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education* 28: 383–403.
- Mason, L. 2001. Responses to anomalous data on controversial topics and theory change. *Learning and Instruction* 11: 453–483.
- McNamara, D. S., Kintsch, E., Butler Songer, N & Kintsch, W. Are good texts always better? Interactions of text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text. *Cognition and Instruction* 14: 1–43.
- Metsämuuronen, J. 2008. *Laadullisen tutkimuksen perusteet*. Helsinki: International Methelp. 74 s.
- Mintzes, J. J. & Wandersee, J., H. 1998. Reform and innovation in science teaching: a human constructivist view. Teoksessa Mintzes, J. J., Wandersee, J. H. & Novak, J. D. (toim.) *Teaching Science for Understanding*. San Diego: Academic press, 29–58.

- Mintzes, J. J. & Wandersee, J., H. 1998b. Research in science teaching and learning: a human constructivist view. Teoksessa Mintzes, J. J., Wandersee, J. H. & Novak, J. D. (toim.) *Teaching Science for Understanding*. San Diego: Academic press, 59–92.
- Mikkilä-Erdmann, M. 2002. Science learning through text: the effect of text design and text comprehension skills on conceptual change. Teoksessa Limón, M. & Mason, L. (toim.) *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice*. Dordrecht: Kluwer, 337–356.
- Mikkilä-Erdmann, M. 2001. Improving conceptual change concerning photosynthesis through text design. *Learning and Instruction* 11: 241–257.
- Piaget, J. 1970. *Structuralism*. New York: Basic Books.
- Piguette, J. S. & Heikkinen, H. W. 2005. Strategies reported used by instructors to address student alternate conceptions in chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching* 42: 1112–1134.
- POPS 2004 – *Peruskoulun opetusuunnitelman perusteet*. 2004. Helsinki: Opetushallitus.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. 1982. Accomodation of Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education* 66: 211–227.
- Ross, P., Tronson, D. & Ritchie, R. J. 2005. Modelling photosynthesis to increase conceptual understanding. *Journal of Biological Education* 40: 84–88.
- Russell, A. W., Netherwood, G. M. A. & Robinson, S. A. 2004 Photosynthesis in silico. Overcoming the challenges of photosynthesis education using a multimedia CD-ROM. *Bioscience education e-journal* 3.
- Sfard, A. 1998. On two metaphors for learning and the dangers of choosing just one. *Educational Researcher* 27: 4–13.
- Sinatra, G. M. & Mason, L. 2008. Beyond Knowledge: Learner Characteristics Influencing Conceptual Change. Teoksessa Vosniadou, S. (toim.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge, 560–582.
- Sinatra, G. M. & Pintrich, P. R. 2003. The role of intentions in conceptual change learning. Teoksessa Sinatra, G. M. & Pintrich, P. R. (toim.) *Intentional Conceptual Change*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1–18.
- Smith, J. P., DiSessa, A. A. & Roschelle, J. 1993. Misconceptions Reconceived: A Constructivist Analysis of Knowledge in Transition. *The Journal of the Learning Sciences* 3, 115–163.

- Smith, C. L., Solomon, G. A. A. & Carey, S. 2005. Never getting to zero: Elementary school students' understanding of the infinite disability of number and matter. *Cognitive Psychology* 51: 101–140.
- Stavy, R., Eisen, Y. & Yaakobi, D. 1987. How students aged 13–15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education* 9: 105–115.
- Södervik, I., Mikkilä-Erdmann, M. & Vilppu, H. 2013. Promoting the understanding of photosynthesis among elementary school student teachers through text design. *Journal of Science Teacher Education* 25: 581–600.
- Södervik, I., Virtanen, V. & Mikkilä-Erdman, M. 2015. Challenges in understanding photosynthesis in university introductory biosciences class. *International Journal of Science and Mathematics Education*. (hyväksytty 11.8.2014, painossa)
- Tlala, B., Kibirige, I. & Osodo, J. 2014. Investigating grade 10 learners' achievements in photosynthesis using conceptual change model. *Journal of Baltic Science Education* 13: 155–164.
- Tytler, R. 1998. Children's conceptions of air pressure: Exploring the nature of conceptual change. *International Journal of Science education* 20: 929–958.
- Uusikylä, K. & Atjonen, P. 2005. *Didaktiikan perusteet*. WSOY: Helsinki, 262 s.
- Virtanen, V., Postareff, L. & Hailikari, T. 2015. Millainen arviointi tukee elinikäistä oppimista? *Yliopistopedagogiikka* 22, 3–11.
- Vosniadou, S. 2007. Conceptual change and education. *Human Development* 50: 47–54.
- Vosniadou, S. 2007b. The Cognitive-Situative Divide and the Problem of Conceptual Change. *Educational Psychologist* 42, 55–66.
- Vosniadou, S. 2002. On the nature of naïve physics. Teoksessa Limón, M. & Mason, L. (toim.) *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice*. Dordrecht: Kluwer, 61–76.
- Vosniadou, S. 2008. Conceptual change research: an introduction. Teoksessa Vosniadou, S. (toim.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge, xiii–xxviii.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X. & Skopeliti, I. 2008. The framework theory approach to the problem of conceptual change. Teoksessa Vosniadou, S. (toim.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge, 3–34.
- Vosniadou, S. 1999. Conceptual change research: state of art and future directions. Teoksessa Schnotz, W., Vosniadou S. & Carretero, M. (toim.) *New Perspectives on Conceptual Change*. Amsterdam (The Netherlands): Elsevier, 3–14.

- Vosniadou, S. & Brewer, W. 1992. Mental Models of the Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood. *Cognitive Psychology* 24, 535–585.
- Wertsch, J. 1991. *Voices of the Mind*. Cambridge, MA: Harvard university press.
- White, R. T. & Gunstone, R. F. 2008. The Conceptual Change and the Teaching of Science. Teoksessa Vosniadou, S. (toim.) *International Handbook of Research on Conceptual Change*. New York: Routledge, 619–628.
- von Wright, J. 1993. *Oppimiskäsitysten historiaa ja pedagogisia seurauksia*. Helsinki: Opetushallitus. 38 s.
- Yenilmez, A. & Tekkaya G. 2006. Enhancing students' understanding of photosynthesis and respiration in plant through conceptual change approach. *Journal of Science Education and Technology* 15: 81–87.
- Özay, E. & Öztas, H. 2003. Secondary students' interpretation of photosynthesis and plant nutrition. *Journal of Biological Education* 37: 68–70.

# LIITTEET

LIITE 1. Kysymyslomake. Vastaustilaa on tiivistetty.

Nimi tai opiskelijanumero: \_\_\_\_\_

## 1. Mitä on yhteyttäminen?

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi on virheetön. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi sisältää kaikki olennaiset asiat. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

## 2. Missä soluelimessä fotosynteesi tapahtuu?

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi on virheetön. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi sisältää kaikki olennaiset asiat. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

## 3. Mitä tarkoitetaan käsitteellä ravinto?

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi on virheetön. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi sisältää kaikki olennaiset asiat. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

#### 4. Kun syöt lounaalla salaattia, perunaa ja lihaa, saat elimistösi käyttöön energiaa.

##### Miten energia on päätynyt a) salaattiin b) perunaan c) lihaan?

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi on virheetön. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi sisältää kaikki olennaiset asiat. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

#### 5. Maapallon väestö käyttää ravintonaan yhä kasvavassa määrin lihaa. Mitä haasteita tämä aiheuttaa maailman ravinnontuotannolle? Miksi? Pohdi kysymystä ravintoketjujen näkökulmasta

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi on virheetön. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi sisältää kaikki olennaiset asiat. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

#### 6. Mitä tehtäviä ilmaraoilla on kasvissa?

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi on virheetön. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi sisältää kaikki olennaiset asiat. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

## 7. Selitä, mikä on kasvin rooli ravintoketjussa.

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi on virheetön. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi sisältää kaikki olennaiset asiat. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

## 8. Miksi ravintopyramidi (esim. kasvit → kasvinsyöjät → pedot) kapenee ylöspäin?

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi on virheetön. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

Arvioi, kuinka varma olet siitä, että vastauksesi sisältää kaikki olennaiset asiat. Ympyröi sopivin (vain yksi) vaihtoehto.

1	2	3	4
Täysin epävarma	Melko epävarma	Melko varma	Täysin varma

LIITE 2. Havaitut virhekäsitykset ja puutteelliset käsitykset biologian pääaineopiskelijoilla ja sivuaineopiskelijoilla virhekäsitysluokittain. Prosenttiosuudet ovat erikseen mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta ennen opetustekstin lukemista havaittuja osuuksia.

Virhekäsitys tai puutteellinen käsitys	Pääaine- opiskelijat	Sivuaine- opiskelijat
<b>Luokka 1 - Fotosynteesireaktioon liittyvät virhekäsitykset</b>		
yhteyttäminen yhdistetään energiatalouteen virheellisesti		5 %
- sekoitetaan soluhengitykseen		3 %
- kemiallinen energia muuttuu valoenergian avulla kasvin aineenvaihdunnan energiaksi		1,5 %
hiilidioksidi, vesi tai happi virheellisesti lähtöaineena tai tuotteena	7 %	7 %
- happi lähtöaineena		1,5 %
- tuotteena hiilidioksidia	2 %	2,5 %
- tuotteena vettä	2 %	1,5 %
sokeri reaktion lähtöaineena		1,5 %
ravinteet reaktion lähtöaineena		1 %
<b>Puutteelliset käsitykset</b>		
fotosynteesin lähtöaine tai tuote tai Auringon energia mainitsematta	30 %	41 %
- hiilidioksidia ei mainittu	19,5 %	20 %
- vettä ei mainittu	19,5 %	26,5 %
- happea ei mainittu	19,5 %	25,5 %
- sokeria ei mainittu		5,5 %
- auringon energiaa/valoa ei mainittu	2 %	4 %
<b>yhteensä</b>	<b>30 %</b>	<b>47 %</b>



<b>Luokka 2 - Kasvin rakenteisiin liittyvät virhekäsitykset</b>		
fotosynteesin sijainti kasvissa väärin	13 %	25 %
- viherhiukkasessa eli klorofyllissä	6,5 %	1 %
- lehtivihreässä / klorofyllissä	4 %	4 %
- mitokondriossa	2 %	8 %
- solulimassa		2,5 %
- tumassa		1 %
- viherkiekoissa		1 %
- solukalvossa		2,5 %
- solun pinnalla		1 %
- muissa eliöissä		1 %
- ei tietoa		4 %
virheellinen tai puutteellinen käsitys ilmarakojen toiminnasta	35 %	68 %
- kasvit ottavat happea ilmaraoillaan	13 %	5 %
- kasvit ottavat vettä ilmaraoillaan		2,5 %
- kasvit hengittävät ilmaraoillaan		5,5 %
- ilmaraoista poistuu hiilidioksidia	6,5 %	1,6 %
- ilmarakoja tarvitaan soluhengityksessä		3 %
- ilmaraoit estävät kasvia jäätymästä		1 %
- kasvin varressa oleva rako, jota pitkin vesi kulkee		1 %
- ylläpitävät kasvin rakennetta		1 %
- kasvit kuljettavat ravinteita ilmaraoilla		1 %
- ilmaraoit auki kuumalla ja kiinni kylmällä		1 %
- ilmaraoilla otetaan valoenergiaa		1 %
- varastoivat hiilidioksidia		1 %
- kuljettavat vettä kasvin eri osiin		1 %
- osallistuvat lämmönsäätelyyn		opetustekstin jälkeen 1%

- fotosynteesi tapahtuu ilmarakojen kautta		opetustekstin jälkeen 1 %
<b>Puutteelliset käsitykset</b>		
haihdutusta ei mainita ilmarakojen tehtäväksi	11 %	44 %
kaasujenvaihtoa ei mainita ilmarakojen tehtäväksi	9 %	21 %
<b>yhteensä</b>	<b>41 %</b>	<b>71 %</b>
<b>Luokka 3 - Kasvin energiatalouteen liittyvät virhekäsitykset</b>		
yhteyttäminen on kasvien lisääntymistä		2,5 %
ei tietoa, mitä yhteyttäminen on		1 %
kasvit saavat energiaa maaperän ravinteista tai vedestä		13,5 %
energiaa tuotetaan muuttamalla hiilidioksidi hapeksi		1 %
energiaa sitoutuu viherhiukkasiin		1 %
kasvin energia glukoosista/soluhengityksestä		4 %
aurion energia siirtyy kasviin proteiinisynteesissä		1 %
<b>Puutteelliset käsitykset</b>		
ei kuvattu auringonvalon energian muuttumista kasvin sokerin energiaksi		11 %
ei vastattu kysymykseen salaatin energiasta		2,5 %
<b>yhteensä</b>	<b>0 %</b>	<b>30 %</b>
<b>Luokka 4 - Fotosynteesin ekologiseen merkitykseen ja ravintoketjuun liittyvät virhekäsitykset</b>		
kasvin rooliin ravintoketjussa liittyviä virhekäsityksiä		5 %
- yhteyttämisellä tuotetaan ravinteita		1,5 %
- kasvit tuottavat ravintoketjussa proteiineja		opetustekstin jälkeen 1,5 %
- ilman kasveja ei olisi elämää		1,5 %
- kasvit muuttavat maan kemialliset ainesosat orgaaniseksi ravinnoksi		1,5 %
- eräs kasvien rooli ravintoketjussa on tuottaa typpeä		1,5 %

lihan energiansaantiin liittyviä virhekäsityksiä		5 %
- eläimet käyttävät ravinteita energian saamiseksi		1,5 %
- eläimet varastoivat energiaa lihaksiin		2,5 %
- lihan energia on peräisin proteiinisynteesistä		1 %
energian ohivirtaukseen liittyviä virhekäsityksiä	7 %	15 %
- suurin osa ravinnon energiasta ei vapaudu kuluttajan käyttöön/tule hyödynnetyksi/menee hukkaan	11 %	3 %
- toisenvaraiset eliöt sisältävät vähemmän energiaa kuin omavaraiset eliöt	4 %	
- massa vähenee ravintoketjussa		1 %
- kasviravinto vastaa energiatehokkuudeltaan kanaa ja kalaa		1 %
- liharavintoa tarvitaan kasviravintoa enemmän		opetustekstin jälkeen 1 %
- ohivirtauksen syy on, että eläin syö vain osan kasvista	2 %	
- energia huononee ravintoketjussa	2 %	
- energiaa häviää ravintoketjussa		1 %
- ylempiin tasoihin sitoutunut enemmän energiaa kuin alempiin	2 %	
- ylempillä tasoilla energian ohivirtaus pienenee	2 %	
- energia kiertää ravintoketjussa		opetustekstin jälkeen 3 %
<b>Puutteelliset käsitykset</b>		
kasvin rooli ravintoketjussa selitettiin puutteellisesti		6 %
lihan energian ja auringonvalon välinen yhteys epäselvä		10 %
energian ohivirtauksen periaatetta ei ymmärretty	13 %	40 %
<b>yhteensä</b>	<b>35 %</b>	<b>62,5 %</b>
puutteellisesti ymmärretty auringonvalon sitoutuminen kasveihin (Luokka 3), kasvien rooli tai lihan energian alkuperä (Luokka 4)	0 %	18 %