

Pro Gradu – tutkielma

**Yhdeksäsluokkalaisten käsityksiä ekosysteemin rakenteesta ja toiminnasta**

**Jenni Minkkinen**



**Jyväskylän yliopisto**

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Biologia

12.5.2008

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos  
Biologia

MINKKINEN, J. : Yhdeksäsluokkalaisten käsityksiä ekosysteemin rakenteesta ja toiminnasta

Pro Gradu – tutkielma: 76 s. + 5 liitettä  
Työn ohjaajat: Dos. Jari Haimi, Dos. Markku Käpylä  
Tarkastajat: Dos. Jari Haimi, KT, FM Tiina Nevanpää  
Toukokuu 2008

---

Hakusanat: ekosysteemin ymmärtäminen, käsitykset, systeemiajattelu, yhdeksäsluokkalaisten

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa tarkasteltiin yhdeksäsluokkalaisten käsityksiä ekosysteemin rakenteesta ja toiminnasta. Laadullisen tutkimustavan ja konstruktivistisen viitekehyksen avulla lähestyttiin niitä kokonaiskäsityksiä, joita 14–15-vuotias nuori rakentaa ekosysteemistä. Erilaisilla tutkimuskysymyksillä ja -menetelmillä tutkittiin, millainen käsitys oppilailla on ekosysteemin tuottajista, kuluttajista ja hajottajista sekä niiden merkityksestä ekosysteemin aineiden kierroissa ja energian virtauksessa. Tutkimuksen kohteena olivat 14 yhdeksäsluokkalaista Jyväskylän Rudolf Steiner -koulusta. Tutkimus toteutettiin biologian kurssin opetuksen yhteydessä helmi - huhtikuussa 2007, jolloin aineistoa kerättiin käsittekartoin, väittämin, kysymyksin ja haastatteluin. Vastauksista muodostettiin ekosysteemin ymmärtämistä kuvaavat systeemiajattelun tasot ja oppilaiden käsitykset yhdisteltiin merkityskategorioiksi, jotka edelleen luokiteltiin kokonaiskäsityksiksi ekosysteemistä. Tärkein tutkimustulos oli, että oppilaat korostavat auringon ja hapen merkitystä elämälle. Lisäksi havaittiin, että oppilailla on useita virheellisiä käsityksiä tuottajista ja hajottajista sekä niiden toiminnasta, kuten kasvien ja eläinten soluhengityksestä. Yhteenvedon tutkimuksen tuloksista voidaan todeta oppilaiden ymmärtävän ekosysteemin rakennetta. Kokonaisuuden ymmärtäminen kuitenkin vaatisi sekä osien toimintojen tarkentamista että osien välisten yhteyksien löytämistä ohjauksen ja tiedon aktiivisen jäsentämisen kautta.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Science

Department of Biological and Environmental Science

Biology

MINKKINEN, J. : Ninth grade pupils' understanding of the structure and function of the ecosystem

Master of Science Thesis: 76 p. + 5 appendices

Supervisors: PhD Jari Haimi, PhD Markku Käpylä

Inspectors: PhD Jari Haimi, PhD, MSc Tiina Nevanpää

May 2008

---

Key Words: concepts, system thinking, understanding of the ecosystem, 9<sup>th</sup> grade pupil

## **ABSTRACT**

In this study, 14 - 15 years old pupils' understanding of the structure and function of the ecosystem was studied. In order to find out whether pupils understand the ecosystem as the functional unit, their conceptions of the producers, consumers and decomposers together with whose role in nutrient cycling and energy flow were studied. In addition, common misconceptions and whether the ecological understanding develops along the teaching based on system thinking were under the focus. Fourteen 9<sup>th</sup> grade pupils were involved in this study from February to April in 2007. The qualitative data comprised of pupils' answers to the right or wrong questions, concept maps, open questions and semi-structured interview questions. The pupils' answers and concept maps were categorized to the different levels of system thinking. The main result of the study was that the pupils emphasized the importance of the Sun and oxygen to the life in the ecosystem. It was also found out that the pupils had several misconceptions on the functions of the producers and decomposers, like photosynthesis and cellular respiration. As a conclusion the pupils understood different parts of the ecosystem but the holistic understanding would need active reconstruction of the concepts and guidance by the teacher.

## Sisältö

1. JOHDANTO.....	6
2. BIOLOGIAN OPPIMINEN JA OPETTAMINEN .....	7
2.1. Oppiminen on mielekästä tiedon rakentamista ja kokoamista.....	7
2.2. Konstruktivistinen oppimiskäsitys ja opettajan rooli.....	8
2.3. Biologian oppimisen ja opettamisen työtapoja.....	10
2.3.1. Konstruktivismi opetusmenetelmien valinnassa.....	10
2.3.2. Ennakkokäsitysten huomioiminen ja ajattelun aktivoiminen .....	10
2.3.3. Motivaation ylläpitäminen .....	12
2.3.4. Vuorovaikutuksessa oppiminen .....	12
2.3.5. Opitun soveltaminen ja liittäminen laajempaan kokonaisuuteen .....	13
2.4. Tavoitteena ymmärtävä oppiminen .....	13
2.4.1. Ymmärtäminen on tietorakennelmien muutosta.....	13
2.4.2. Käsitekartat kertovat tekijänsä ajattelusta.....	14
3. EKOSYSTEEMIEN EKOLOGIAA .....	14
3.1. Ekosysteemi luonnonjärjestelmänä.....	14
3.1.1. Ekosysteemin rakenne ja toiminta .....	14
3.1.2. Solujen energiametabolialla ekosysteemin toiminnan perustana .....	15
3.1.3. Ekosysteemin perustuotanto .....	17
3.1.4. Energian ja aineen kulku tuottajilta kuluttajille.....	17
3.2. Oppilaiden ymmärrys ekosysteemin osista ja prosesseista.....	19
3.2.1. Ekosysteemi käsitteen ymmärtäminen.....	19
3.2.2. Aine ja energia .....	20
3.2.3. Aineen ja energian muutokset fotosynteesissä ja soluhengityksessä.....	20
3.2.4. Autotrofiset tuottajat ja heterotrofiset kuluttajat.....	21
4. AINEISTO JA MENETELMÄT .....	24
4.1. Tutkimusaikataulu .....	24
4.2. Opetusjaksolla käytetyt työtavat.....	24
4.2. Alkumittauksen väittämät .....	25
4.3. Kurssikokeen tehtävät.....	27
4.4. Käsitekartat .....	27
4.5. Haastattelut .....	28
4.6. Systemiajattelun tasot .....	29
5. TULOKSET .....	30
5.1. Oppilaiden ymmärrys ekosysteemistä opetusjakson alussa.....	30
5.1.1. Alkumittauksen väittämät ja käsitekartat.....	30
5.2.2. Oppilaiden systemiajattelun tasot .....	33
5.2.2. Aurinko ylläpitää ekosysteemin elämää .....	33
5.2.2. Hajottajat tekevät multaa .....	36
5.2.3. Fotosynteesistä ja soluhengityksestä ei ymmärrystä .....	37
5.2.4. Hiilen ja hapen kierrosta puutteellisia käsityksiä .....	37
5.2.5. Yhteenveto oppilaiden systemiajattelusta opetusjakson alussa .....	38
5.2. Oppilaiden ymmärrys ekosysteemistä opetusjakson jälkeen.....	38
5.2.1. Avoimet kysymykset, piirrostehtävä, käsitekartat ja haastattelut.....	38
5.2.2. Oppilaiden systemiajattelun tasot .....	46
5.2.3. Auringon ja kasvien merkitys edelleen suuri.....	47
5.3.4. Kasvien kasvuun tarvitaan myös energiaa.....	49
5.3.2. Energia ja aineet siirtyvät ravintoketjuissa .....	49

5.3.5. Hajottajien merkitys aineiden kierrossa jäi vähäiseksi .....	53
5.3.6. Yhteenveto oppilaiden systeemiajattelusta opetusjakson lopussa .....	55
6. TULOSTEN TARKASTELU .....	56
6.1. Millaisten ekosysteemin osien ja toimintojen varaan yhdeksäsluokkalaiset rakentavat ekosysteemikäsitteensä? .....	56
6.1.1. Oppilaille muodostuneet kokonaiskuvat ekosysteemistä .....	56
6.1.2. Kasvit tarvitsevat Aurinkoa .....	56
6.2.3. Kasvit tuottavat happea.....	59
6.2.4. Kasvit saavat energiaa yhteyttämällä.....	63
6.2. Mitkä ovat yleisimmät virheelliset käsitykset?.....	68
6.3. Miten yhdeksäsluokkalaisen ymmärrys ekosysteemistä kehittyy systeemiajatteluun pyrkivän opetuksen avulla?.....	69
6.3.1. Oppilaiden systeemiajattelun kehittyminen.....	69
6.3.2. Opetuksella tuetaan ajattelun kehittymistä .....	71
6.4. Tutkimuksen luotettavuus ja tarve jatkotutkimukseen .....	72
Kiitokset .....	72
Kirjallisuus .....	73
Liite 1. Alkumittauksen väittämät. ....	77
Liite 2. Kuva metsäekosysteemistä.....	78
Liite 3. Opetusjaksolla käytettyjen demonstraatioiden tutkimusasetelmat..	79
Liite 4. Kurssikokeen tehtävät. ....	80
Liite 5. Haastatteluissa käytetty ekosysteemi kuva. ....	81

## 1. JOHDANTO

Opetustilanteessa biologian luokasta löytynee samalle käsitteelle hyvinkin erilaisia määritelmiä. Opettajan käsitykset ilmiöistä pohjautuvat luonnontieteisiin, kun taas oppilaat ovat muodostaneet käsityksensä omien arkisten havaintojensa pohjalta (Ahtee ym. 1994). Tästä syystä oppilaiden ja opettajien kuvat maailmasta eivät välttämättä kohtaa, vaan tarvitaan vuorovaikutuksellista ja aktiivista käsitteiden uudelleen konstruointia. Käsitykset tarjoavat mielenkiintoisen tutkimuskohteen, koska usein eri käsitykset samasta ilmiöstä ovat sisällöltään erilaiset (Ahonen 1995). Oppilaille on muodostunut joko tieteellisesti virheellisiä ajatusmalleja tai heidän ajatuksensa ovat liian irrallisia ja pintapuolisia, ts. oppilaat eivät ”näe metsää puilta”. Opetuksen yhtenä tavoitteena onkin saada oppilaat systeemiajattelun kautta havaitsemaan osista muodostuva kokonaisuus.

Käsityksiä voidaan pitää kehittyvinä tietorakenteina, joiden avulla henkilöt jäsentävät uutta asiaa (Ahonen 1995). Ne ovat havaintojen pohjalta ja loogisen ajattelun avulla muodostettuja kokonaisuuksia ilmiöistä. Samasta ilmiöstä voi olla useita erilaisia käsityksiä, riippuen mm. havainnoitsijan kokemustaustasta (Aho 1987). Kokemusten karttuessa käsitykset tarkentuvat ja ajattelu jäsentyy, jolloin voidaan puhua oppimisesta.

Uudistettujen perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden lähestymistapa on konstruktivistinen, jolloin opetuksen lähtökohtana pidetään oppilaan arkitiedolle rakentunutta ajattelumallia (Opetushallitus 2004). Opettaja tarvitsee tällöin tietoa oppilaidensa ajattelun tasosta. Tiedot oppilaiden lähtötasosta parantavat opetuksen suunnittelua, toteuttamista ja arviointia. Opettaja pystyy mm. ohjaamaan oppilaiden tiedon rakentumista ja motivoimaan heitä aktiiviseen opiskeluun. Oppimisesta tulee tällöin mielekästä syväoppimista (Åhlberg 1988).

Perusopetuksen yläluokkien biologian opetuksen tavoitteena on mm. ekologien ilmiöiden ja vuorovaikutusten hahmottaminen. Opetushallitus (2004) asettaa arviointikriteerit ekosysteemin hyvälle tuntemukselle. Hyvät tiedot hallitakseen oppilaan tulisi osata mm. ekosysteemin rakenteeseen ja toimintaan liittyvät ilmiöt sekä kestävä kehityksen periaatteet. Opetussuunnitelman mukaan oppilaan tulisi ymmärtää ekosysteemin kokonaisuutta, sen osia ja osien välisiä vuorovaikutuksia. Oppilaan tulisi myös osata jaotella ekosysteemin eliöt tuottajiin, kuluttajiin ja hajottajiin sekä rakentaa tunnistamistaan eliöistä ravintoverkkoja. Ekosysteemin toiminnan kannalta oppilaan tulisi ymmärtää aineiden kierto ja energian virtaus niin, että hän osaa piirtää kuvan jostakin tuntemastaan ekosysteemistä. Näitä perusekologisia taitojaan oppilaan tulisi osata soveltaa ekologiseen kestävään kehitykseen ja oppilaan tulisi ymmärtää myös ekosysteemien monimuotoisuutta. Lisäksi oppilaan toivotaan tunnistavan ekosysteemeissä tapahtuvia muutoksia ja niiden vaikutuksia.

Eri-ikäisten oppilaiden ja opiskelijoiden biologian ilmiöiden oppimista ja käsitteiden hallintaa on tutkittu runsaasti sekä Suomessa että ulkomailla. Useat varhaisemmat tutkimukset ovat selvittäneet oppilaiden virhekäsityksiä kokonaisuudesta irrallisina olevista yksittäisistä käsitteistä, kuten fotosynteesistä (Stavy ym. 1987, Barker & Carr 1989a, b, c), soluhengityksestä (Songer & Mintzes 1994), fotosynteesin ja soluhengityksen yhteydestä (Haslam & Treagust 1987, Anderson ym. 1990, Songer & Mintzes 1994) ja erilaisista ekologian käsitteistä (Adeniyi 1985, Larna 1985, Webb & Bolt 1990). Viimeaikaisimmat tutkimukset ovat huomioineet myös konstruktivisen opettamis- ja oppimiskäsityksen ja pyrkineet käsittelemään ekosysteemiä kokonaisuutena (Waheed & Lucas 1992, Hogan & Fisherkeller 1996, Leach ym. 1996a, b, Barak ym. 1999, Lin & Hu 2003, Özyay & Öztas 2003).

Yhteistä aiempien tutkimusten havainnoille on, että oppilaat ymmärtävät heikosti energiaan liittyviä käsitteitä ja prosesseja. Eliöiden hengitys ajatellaan ennemminkin hapen ja hiilidioksidin vaihdoksi kuin energiaa vapauttavaksi toiminnaksi. Fotosynteesi puolestaan nähdään kasvien tavaksi hengittää eikä energiaa sitovaksi tapahtumaksi. Kasvien tehtäväksi ajatellaan hapen tuottaminen, mikä on elintärkeää eläimille, jotka ovat siksi riippuvaisia kasveista. Happi puolestaan ei ole kasveille niin merkittävä kasvua säätelevä tekijä kuin vesi tai Auringon valo. Voidaankin olettaa, että oppilailla on useita virheellisiä ajatuksia ekosysteemin toiminnan osista ja niiden välisistä kytkennöistä.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin yhdeksäsluokkalaisten käsityksiä ekosysteemin rakenteesta ja toiminnasta. Tutkimuksen aineisto kerättiin useilla menetelmillä mm. havainnoinnilla, käsittekartoilla ja haastatteluilla. Tulokset kuvasivat oppilaiden erilaisia tapoja ymmärtää ekosysteemiä. Oppilaiden ymmärrys ekosysteemistä esitettiin systeemiajattelun tasoina ja merkityskategorioina, joiden laadinnassa huomioitiin myös nuorten virheelliset käsitykset mm. kasvien omavaraisuudesta, aineiden kierroista ja energian kulusta ravinto-verkoissa.

Tutkimuksen pääkysymykset olivat:

1. Millaisten ekosysteemin osien ja toimintojen varaan yhdeksäsluokkalaiset rakentavat ekosysteemikäsityksensä?
2. Mitkä ovat yleisimmät virheelliset käsitykset?
3. Miten yhdeksäsluokkalaisten ymmärrys ekosysteemistä kehittyy systeemiajatteluun pyrkivän opetuksen avulla?

## **2. BIOLOGIAN OPPIMINEN JA OPETTAMINEN**

### **2.1. Oppiminen on mielekästä tiedon rakentamista ja kokoamista**

Konstruktivinen oppimis- ja opettamiskäsitys ovat lähtökohta tämän päivän kasvatukselle. Konstruktivismiin juuret ovat kognitiivisessa psykologiassa, jonka tunnetuin ja viitatuin tutkija lienee sveitsiläinen Piaget, joka julkaisi lapsen tiedonrakennelman kehitysvaiheet (Tynjälä 1999). Konstruktivismi ei ole mikään yhtenäinen teoria, vaan esimerkiksi Tynjälä (1999) jakaa konstruktivismiin kolmeen suuntaukseen niiden välisten painotuserojen perusteella. Konstruktivismiin yksilökonstruktivismiin suuntaus pohjautuu juuri mm. Piagetin teorialle, joka korostaa yksilön omaa sisäistä säätelyä ts. henkilö itse jäsentää kokemuksellista maailmaansa. Toisaalta oppiminen voi rakentua kielellisessä vuorovaikutuksessa muiden kanssa, jolloin puhutaan Vygotskin esittämästä sosiaalisen konstruktivismiin suuntauksesta (Vygotski 1982). Kolmas suuntaus on symbolinen interaktionismi, joka pyrkii huomioimaan yksilöllisen tiedon konstruoinnin osana vuorovaikutusta eli sijoittuu näkemyksenä kahden edellisen väliin. Yhteistä näille kaikille suuntauksille kuitenkin on, että oppiminen nähdään tiedon muuttumisena, ei tiedon kopiointina.

Kognitiivisen psykologian pohjalta on kehitetty myös Ausubelin mielekkään oppimisen teoria (Ausubel & Robinson 1971). Mielekkäässä oppimisessa pyritään oppimaan jokin kokonaisuus sen keskeisimpien osien ja osien välisten yhteyksien kautta (Åhlberg 1988). Kokonaisuus rakentuu mielekkäässä syväoppimisessa (Åhlberg 1988), johon liittyvät kognitiivisuuden lisäksi myös oppimisen psykomotorisuus ja affektiivisuus, koska ajatteluun liittyvät myös tunteet. Novak (1998) käsittelee myös mielekästä oppimista, jonka pohjalta hän on kehittänyt käsittekarttatekniikkansa. Suomessa samoja ajatuksia on kehittänyt edelleen Åhlberg (ks. mm. 1990, 1991, 1998, 2001).

Kokonaisuuden hahmottaminen puolestaan vaatii harjaantumista systeemiajatteluun. Systeemiajattelussa kokonaisuus eli ilmiö nähdään suurempana kuin osiensa summana ts. ”metsä nähdään puiltaan”. Sengen ym. (1996) mukaan systeemiajattelulla ratkaistaan tehokkaasti monitahoisia ongelmia, koska systeemin toisistaan riippuvaisten osien vuorovaikutukset tuodaan näkyviin, esimerkiksi takaisinkytkennöillä. Systeemiajattelun tavoite on muuttaa ajattelua siten, että ilmiön eri osat ja niiden yhteydet pyritään löytämään ja tekemään näkyviksi (Senge ym. 1996). Vasta tämän jälkeen systeemi rakentuu ajatuksissa kokonaisuudeksi. Oppimisessa systeemiajattelun tavoite onkin keskittää huomio systeemin osien välisiin yhteyksiin ja luoda tätä kautta kokonaiskuva ilmiöstä. Tämä puolestaan vaatii opiskelijalta omien sisäisten ajattelumallien tiedostamista ja niiden uudelleen muokkaamista. Tutkijat uskovat, että systeemiajattelulla saavutetaan tieteellisen ajattelun taso, vaikka systeemiajattelua tieteiden oppimisessa on tutkittu vielä melko vähän (Assaraf & Orion 2005).

Systeemiajattelun periaatteiden mukaan oppilas pystyy muodostamaan itselleen kokonaiskuvan esimerkiksi ekosysteemin rakenteesta ja toiminnasta seuraavien ehtojen täytyessä (Assaraf & Orion 2005):

1. Oppilas tunnistaa ja osaa nimetä ekosysteemin **osia** (tuottajat, kuluttajat, hajottajat, elottoman luonnon tekijät) ja **prosesseja** (fotosynteesi, soluhengitys ja hajoaminen).
2. Oppilas tunnistaa **osien välisiä yhteyksiä** (kuluttajat käyttävät tuottajien biomassaa ravintonaan).
3. Oppilas tunnistaa **osien ja prosessien välisiä yhteyksiä** (tuottajien fotosynteesi tuottaa biomassaa, joka on kuluttajien hyödynnettävissä).
4. Oppilas osaa tehdä systeemiä koskevia **yleistyksiä** (eläimet ovat toisenvaraisia kuluttajia).
5. Oppilas tunnistaa **systeemin dynaamisia vuorovaikutuksia** (tuottajien määrä vähenee, kun kuluttajien määrä kasvaa).
6. Oppilas ymmärtää systeemiin **kätkeytyneet tekijät** (fotosynteesin lähtöaineena ovat ilmakehän hiilidioksidi-molekyylit).
7. Oppilas ymmärtää systeemin syklisyyden **takaisinkytkentöjen** kautta (hajottajat vapauttavat elintoiminnoillaan mineraaliravinteet kasvien käyttöön).
8. Oppilas osaa tehdä systeemiä koskevia **ennusteita** ja ottaa huomioon systeemin **menneisyyden** (vuodenaikojen vaikutus ekosysteemin eliöihin).

## 2.2. Konstruktivistinen oppimiskäsitys ja opettajan rooli

Oppiminen voidaan nähdä sensomotorisena, perseptuaalisena eli havaitsemiseen liittyvänä ja propositionaalisena eli käsitteellisenä (Åhlberg 1988). Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan oppiminen perustuu oppijan tiedollisiin eli kognitiivisiin rakenteisiin. Henkilön sisäiset ns. mentaaliset mallit eli skeemat ovat käsityksiä, jotka ohjaavat häntä tulkitsemaan havaintojaan ja tätä kautta hän myös oppii. Oppiminen nähdään näiden tiedollisten rakenteiden muokkautumisena ja muuttumisena eli henkilön tietorakennelmien käsitteellisinä muutoksina. Käsitteellisen muutoksen aikana oppilas antaa käsitteille uusia merkityksiä (ks. Tynjälä 1999, Aho ym. 2003, Rauste-von Wright ym. 2003).

Ahon ym. (2003) mukaan käsitykset ovat tietoisia uskomuksia, joihin henkilöllä on vakaat perustelut. Käsitykset muodostuvat kokemusten myötä ja näiden käsitysten avulla henkilö pyrkii jäsentämään ja ymmärtämään käsitystään maailmasta. Usein havainnot ovat



arkipäiväisiä, jolloin käsitykset voivat olla ristiriidassa tieteellisten käsitysten kanssa. Tällöin puhutaan ns. arkikäsityksistä tai esikäsityksistä (Ahonen 1995), jotka muodostavat henkilön itse konstruoiman intuitiivisen mallin (Tynjälä 1999) eli naivin teorian (Kinchin 2000c). Esimerkiksi oppilaalla voi olla perusteltu käsitys sille, että kasvit saavat ravintonsa maasta ja vedestä tai kasvit ovat ainoastaan ekosysteemin hapentuottajia. Opiskellessaan tarkemmin fotosynteesiä oppilaan käsityksissä tapahtuu muutoksia. Käsitykset voivat muuttua niin, että uusi asia sulautetaan osaksi entistä tietorakennetta (assimilaatio), jolloin kokonaiskäsitys ilmiöstä muodostuu synteetiksi arkikäsitysten ja tieteellisten käsitysten välillä. Uusi tieto voi muodostaa myös täysin uuden tietorakenteen (akkommodaatio), jolloin oppilas hylkää virheellisiksi toteamansa käsitykset ja korvaa ne tieteellisesti oikeilla. Jälkimmäinen muutos johtaa uuden oppimiseen ja ajattelun kehittymiseen (ks. Ojala 1997, Tynjälä 1999, Aho ym. 2003, Rauste-von Wright ym. 2003).

Käsitteellisen muutoksen aikaansaaminen on kuitenkin Tynjälän (1999) mukaan hidasta ja vaikeaa. Oppilaille tulisikin antaa aikaa tarkastella ennakkokäsityksiään ja rakentaa käsitteellistä muutosta (Saari 1997). Tynjälä (1999) lisää, että oppilaiden omaksumat tieteellisen käsitykset jäävät helposti elämään arkikäsitysten rinnalle. Tällöin kokonaisymmärrys jää puutteelliseksi ja oppilas saattaa selittää luonnontieteellisen ilmiön osittain virheellisesti. Näitä oppilailla olevia väärinkäsityksiä ja/tai -ymmärryksiä luonnontieteellisistä ilmiöistä on tutkittu runsaasti ja arkikäsityksiin perustuvien mallien on jopa todettu säilyvän muuttumattomina kouluvuosien ajan (Tynjälä 1999, Aho ym. 2003). Tämä on tietenkin este tai hidaste uuden oppimiselle. Oppimisen tulisikin tästä syystä edetä aktiivisen tiedon jäsentämisen kautta. Kuten Aho ym. (2003) ja Palmberg (2005) ovat havainneet; ymmärtää oppilas oppimansa, kun hän itse aktiivisesti rakentaa tietonsa opittavasta asiasta.

Konstruktivismiin sosiaalisessa suuntauksessa kieli on ajattelun väline. Rauste-von Wrightin ym. (2003) mukaan opetuksen lähtökohtana on kommunikaatio, johon tarvitaan yhteisen kielen lisäksi yhteinen viitekehys. Tällä he tarkoittavat oppilaiden kokemustaustaa käsitteineen. Sanat ovat puolestaan Ahon (1987) mukaan tärkeimpiä viestinnän välineitä, joilla ilmaistaan käsitteitä. Asia ymmärretään, kun käsite saa merkityksen ja sisällön. Käsitettä ei Saaren (1997) mukaan voida suoraan opettaa oppilaalle, koska ulkoa opeteltu määritelmä ei vastaa ajattelun kautta annettua merkitystä. Hän lisää, että opetuksella voidaan kuitenkin ohjata käsitteellistä muutosta. Opettajan tehtävä on siis tukea oppilaan ymmärryksen jäsentymistä ja selventää havaintoihin liittyviä käsitteitä, koska oppilaiden omat tietorakennelmat ovat vielä hajanaisia ja jäsentymättömiä (Aho 1987). Kuten Kaunismaa & Äikäs (1998) tutkimuksessaan havaitsivat, rakentuvat ala-asteikäisten oppilaiden käsitykset ravintoketjuista paremmin opettajan ohjaamassa keskustelussa kuin oppilaiden vapaassa leikissä.

Opettajan tehtäväksi ja rooliksi opetustilanteessa jää Aho ym. (2003) mukailleen oppilaiden ohjaaminen kielellisessä vuorovaikutuksessa, joka tukee ymmärryksen syntyä opiskeltavasta ilmiöstä. Opettaja aktivoi oppilaiden aiempia kokemuksia kyseenalaistamalla, avaamalla uusia näkökulmia ja esittämällä uusia ongelmia. Arkikäsityksille tarjotut vaihtoehtoiset käsitteet saavat oppilaan oman aktiivisen tiedon jäsentelyn kautta perustellut merkitykset ja järkevältä tuntuvat käsitteet otetaan osaksi tietorakennelmaa. Tämä käsitysten tarkentaminen ja vahvistaminen voivat johtaa oppilaan kognitiiviseen konfliktiin ja uuden oppimiseen. Opettaja siis vain auttaa oppilasta löytämään uudelle tiedolle merkityksiä ja tukee näin ymmärryksen syntyä.

## 2.3. Biologian oppimisen ja opettamisen työtapoja

### 2.3.1. Konstruktivismi opetusmenetelmien valinnassa

Opettajalla on mahdollisuus toteuttaa opetus useilla erilaisilla työtavoilla. Seuraavaksi käsitellään sitä, miten konstruktivismi näkyy opettajan tekemissä pedagogisissa ratkaisuissa. Yleisesti voidaan ajatella, että oppiminen on sitä parempaa mitä järjestyneemmäksi oppilaan tietorakennelma muuttuu (Saari 1997). Opetuksen työtapojen tulisikin auttaa tietorakenteiden jäsentymistä. Tynjälää (1999) mukaillen konstruktivistisen opetuksen periaatteet voisi tiivistää seuraavasti: huomioidaan oppilaan ennakkotiedot ja oppimisen taidot, aktiivista ajattelua ja oppiminen, opiskellaan sosiaalisessa vuorovaikutuksessa ja sovelletaan opittua uusissa tilanteissa.

Palmberg (2005) jakaa biologian opetusmuodot opettaja- ja oppilaskeskeisiin. Opettajakeskeisiin työtapoihin kuuluvat mm. esittävä ja kertova opetus, jossa opettaja kuvailee ja havainnollistaa eri tavoin käsiteltävää asiaa tai ilmiötä sekä kyselevä opetus, jossa opettaja pyrkii kysymysten avulla saamaan oppilaat ajattelemaan. Mielekkään oppimisen kannalta tutkivaan oppimiseen ja ongelmanratkaisuun perustuvat työtavat ovat Palmbergin (2005) mukaan kuitenkin suositeltavimpia, koska ne todennäköisemmin mahdollistavat oppilaiden tietorakenteiden muutokset.

### 2.3.2. Ennakkokäsitysten huomioiminen ja ajattelun aktivoiminen

Opettaja voi käyttää opetuksen suunnittelun tukena oppilaiden ennakkokäsityksiä. Oppilas ei ole ”tyhjä taulu” (Rauste-von Wright ym. 2003), vaan oppilailla on oma tapansa tarkastella luonnontieteellisiä ilmiöitä. Arkikäsitysten tekeminen eksplisiittiseksi eli metakäsitteellisen tietoisuuden herättäminen on Tynjälän (1999) mukaan ensimmäinen ehto käsitysten muuttumiselle.

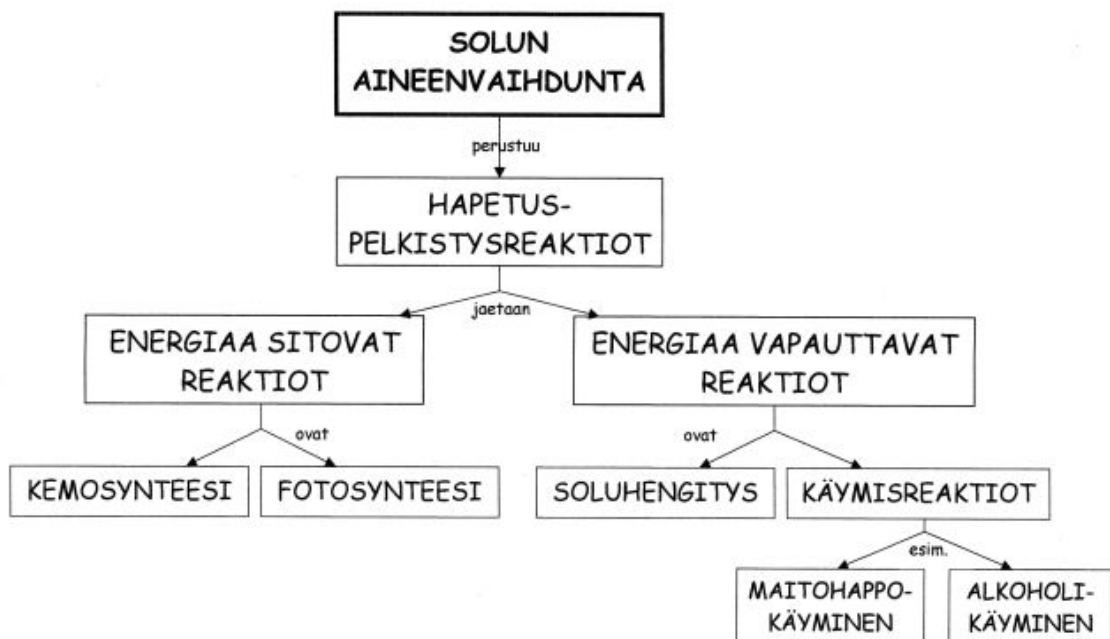
Aiempien käsitysten ilmaisemiseen on olemassa useita pedagogisia työtapoja. Opettaja voi esimerkiksi pyytää oppilaita kirjoittamaan muutamassa minuutissa kaiken tietämänsä käsiteltävästä asiasta tai oppilaat voivat luokitella opettajan antamia käsitteitä aiempien tietämystensä pohjalta (Lonka & Lonka 1991). Oppilaita voidaan myös pyytää piirtämään opiskeltavasta aiheesta mielle- tai käsitekartat, jotka opintojen lopussa myös havainnollistavat opittuja asioita (Tynjälä 1999). Oppimisen kannalta ennakkotiedoistaan tietoiseksi tuleminen kannattaa. Alparslan ym. (2003) ovat esimerkiksi todenneet oppilaiden ymmärtävän opiskeltavan käsitteen (soluhengitys) paremmin silloin, kun opetuksessa kiinnitetään jo alusta alkaen huomiota oppilaiden virhekäsityksiin ja Abimbola & Baba (1996) korostavat opettajan ja oppilaiden välistä keskustelua ennako- ja virhekäsityksistä opetuksen alussa.

Oppilailla olevat käsitteet voidaan aktivoida myös ennakkojäsentäjien avulla (kuvat 1 ja 2). Ennakkojäsentäjät perustuvat Ausubelin mielekkään oppimisen teoriaan ja niiden avulla opettajan on mahdollista huomioida oppilaiden tiedot ja niiden käsittelymahdollisuudet (Ahtee 1991, Sahlberg 1991). Samalla oppilas aktivoi ja kertaa aiempia ajattelumallejaan. Ennakkojäsentäjä voi olla esimerkiksi opettajan laatima teksti, kuva, video, suullinen esitys tai käsitekartta, joka jäsentää käsiteltävän asian ja antaa oppilaalle kokonaiskuvan (Sahlberg 1991). Ennakkojäsentäjän avulla opettaja tuo esille opettettavan asian keskeisimmät käsitteet ja suuntaa oppilaiden ajatukset oppimisen kannalta oleellisiin peruskäsitteisiin. Ennakkojäsentäjien avulla opettaja tulee myös tietoiseksi oppilaiden tietorakennelmista ja mahdollisista väärinymmärryksistä varsinkin silloin, kun ennakkojäsentäjä laaditaan yhdessä oppilaiden kanssa. Ennakkojäsentäjät pystyvät myös osoittamaan oppilaalle

itselleen hänen tekemät virheelliset päättelyketjut, jotka pohjautuvat arkitietoon (Sahlberg 1991).



Kuva 1. Ekosysteemin ennakkojäsentäjä (muokattu Raekunnaksen ym. 2000 kuvasta).



Kuva 2. Solubiologian ennakkojäsentäjä.

### 2.3.3. Motivaation ylläpitäminen

Opetuksen aikana opettajan on mahdollista ylläpitää opiskelumotivaatiota valitsemillaan työtavoilla. Opetuksesta tulisi suunnitella oppilasta kannustava ja motivoiva, koska oppilas ja hänen opiskelunsa on yhtä lailla opetuksen keskipiste kuin itse biologinen ilmiökin.

Motivaatio on Tynjälän (1999) mukaan voima, joka ohjaa, suuntaa ja ylläpitää oppilaan toimintaa. Hän erittelee motivaation sisäiseksi, henkilöstä omasta sisäisestä kiinnostuksesta ja innostuksesta lähteväksi spontaaniksi toiminnaksi ja ulkoiseksi, joka kytkeytyy ulkoisen palkkion odotukseen. Rauste-von Wright ym. (2003) kuvailevat motivaation myös ihmisen toimintaa vahvasti sääteleväksi tekijäksi.

Kiinnostus oppimiseen säilyy, kun oppimistehtävät ja työskentelytavat ovat vaihtelevia (Tynjälä 1999). Tehtävien tulee olla myös sopivan haastavia. Haasteellisten ja oppilaan tasoa vaativimpien ongelmanratkaisujen käyttäminen perustuu Vygotskin ajatukseen lähikehityksen vyöhykkeestä (Vygotski 1982). Saari (1997) havaitsi, että oppilaat selviävät vaativimmistakin tehtävistä ohjauksen avulla. Lisäksi kannustaminen itsenäiseen ajatteluun ja itsearviointiin ylläpitävät oppimisen mielekkyyttä (Tynjälä 1999).

### 2.3.4. Vuorovaikutuksessa oppiminen

Vuorovaikutus mahdollistaa oppimisen tukemisen ja ohjaamisen. Opettajan ohjaus voidaan ajatella oppilaan tietorakennelman rakennustelineiksi, joita opettaja tilanteen mukaan pystyttää tai purkaa. Nämä kuvitteelliset rakennustelineet siis tukevat oppilaan tietorakenteiden rakentumista ja kuvastavat oppimiseen tarvittavan ohjauksen määrää. Vuorovaikutus voi kuitenkin Tynjälän (1999) mukaan olla myös ”keskustelua” kirjan tai tietokoneohjelman tekijän kanssa eikä siis suoranaisesti välitöntä suullista vuorovaikutusta.

Vuorovaikutusta tukevia työtapoja on monia, joista tässä on esitelty muutamia. Vuorovaikutuksen aikaansaamiseksi opettaja voi opetuksen edetessä pyytää oppilaita kirjoittamaan lyhyitä kirjoitelmia siitä, mitä he ovat oppitunnilla oppineet. Kirjoitelman tukena voi käyttää esimerkiksi Lonkan & Lonkan (1991, 35) esittelemiä kysymyksiä: ”mitä opin, ajattelen, että..., haluaisin kysyä...”. Vastausten pohjalta opettaja pystyy tarkentamaan vielä epäselviksi jääneitä asioita ja saa käsityksen siitä, mitä oppilas jo ymmärtää. Nämä kysymykset voivat toimia myös keskustelun avaajina. Ahteen & Sahlbergin (1991) mielestä opetuksessa tulisi antaa enemmän tilaa oppilaiden esittämille kysymyksille. Opettaja voi esimerkiksi demonstroida oppilaille luonnontieteelliseen ilmiöön liittyvän ongelman ja pyytää oppilaita selvittämään kysymyksien avulla, mistä on kyse. Tällöin opettajan rooli ei olekaan selittää ja kuvailla ilmiötä, vaan ohjata oppilaita löytämään ilmiöön liittyviä käsitteitä. Kysymysten tekoa voidaan harjoitella myös kyselemällä läksyä kaverilta tai pyrkiä selvittämään kaverin ajattelema käsite sellaisilla kysymyksillä, joihin voidaan vastata vain ”kyllä” tai ”ei” (PalMBERG 2005).

Tutkiva oppiminen ja ongelmien ratkaiseminen tukevat aktiivista tiedon rakentamista (Ahtee ym. 1994). Tutkiva oppiminen voi lähteä erilaisista tilanteista. Ensinnäkin opettaja voi esitellä tutkittavan asian demonstraation avulla ja tehdä ilmiöön liittyvistä käsitteistä konkreettisempia (PalMBERG 2005). Aho ym. (2003) puolestaan ohjaavat opettajaa tarkastelemaan ilmiötä yhdessä oppilaiden kanssa niin, ettei vaadi välittömästi täysin oikeaa vastausta. Oppilailla on nimittäin pyrkimys rakentaa ilmiöistä loogisia malleja ja ilmiötä selittäessään oppilas herää havaitsemaan oman ajattelunsa virheitä ja vajavuuksia, mikä puolestaan mahdollistaa ajatusrakennelmien uudelleen konstruoinnin (ks. esim. Aho ym. 2003, 15). Lisäksi oppimisen oivallukset motivoivat oppilasta jatkamaan, toisin kuin väääräksi nimetty vastaus. Ahon ym. (2003) mukaan onnistumisen mahdollisuudet kehittävät lisäksi oppilaan minäkuvaan oppijana ja vahvistavat itsetuntoa ts. kehittävät oppilaan metakognitii-

visia taitoja. Tutkiva oppiminen esimerkiksi laboratoriotöissä johti Barkerin & Carrin (1989c) mukaan käsitteelliseen muutokseen. Tutkimukseen osallistuneiden 14-vuotiaiden ymmärrys kasvien kasvuunsa tarvitsemista tekijöistä parani huomattavasti: aiemmasta noin 10 %:n tasosta 70 %:iin.

Opetustilanteen vuorovaikutusta on myös oppilaiden kesken, mitä voi hyödyntää ja kehittää yhteistoiminnallisella oppimisella. Tällöin ryhmän jäsenet pyrkivät ongelmanratkaisun avulla löytämään yhteisymmärryksen erilaisten käsitystensä kautta (Tynjälä 1999). Saloviita (2006) esittelee useita yhteistoiminnallisen oppimisen työtapoja, esimerkiksi palapelimallissa oppilaat työskentelevät asiantuntijaryhmissä sekä kotiryhmissä. Yhteistoiminnallisuuteen siirtyminen kannattaa kuitenkin aloittaa vähitellen, jotta sekä opettaja itse että oppilaat tottuvat uusiin työtapoihin ja järjestelyihin (Saloviita 2006). Yhteistoiminnallisuudessa huomioidaan oppilaiden erilaiset tiedolliset, sosiaaliset ym. lähtötasot. Heterogeeniset ryhmät edistävät Tynjälän (1999) mukaan ns. sosiokognitiivisen konfliktin (vrt. kognitiivinen konflikti) syntyä, koska vuorovaikutus tiedollisesti korkeammalla tasolla olevan henkilön kanssa auttaa konstruoimaan tietorakenteita tehokkaammin. Tästä syystä tasoryhmien käyttö ei ole perusteltua, vaan oppiminen on tehokkaampaa ryhmissä, joissa on eritasoisia oppilaita (Saloviita 2006). Yhteisymmärrykseen päästään, kun kukin ryhmän jäsen tiedostaa omat muiden käsityksistä poikkeavat käsityksensä ja pyrkivät tätä kautta ratkaisemaan ongelman (Tynjälä 1999).

### 2.3.5. Opitun soveltaminen ja liittäminen laajempaan kokonaisuuteen

Opetukselta voisi odottaa, että oppilas pystyy käyttämään oppimaansa laajemmin koulun ulkopuolellakin. Åhlberg (2001) korostaa opittujen tietojen soveltamista ja niiden ottamista osaksi omaa elämää. Oppilailla on kuitenkin havaittu olevan vaikeuksia ratkaista ongelmia, jotka eivät suoranaisesti ole yhteydessä opittuun (Stavy ym. 1987, Ahtee ym. 1994), koska opitut asiat jäävät helposti kontekstisidonnaisiksi (Rauste-von Wright ym. 2003). Jotta tietoa voidaan käyttää muissa kuin opituissa yhteydessä tarvitaan siirtovaikutusta eli transferia (Rauste-von Wright ym. 2003). Oppimisen soveltaminen on mahdollista, kun tietoa pyritään kytkemään moneen uuteen asiayhteyteen tai tietoa jäsennetään hierarkkisesti, jolloin yleiset periaatteet auttavat tekemään johtopäätöksiä yksittäistapauksista (Rauste-von Wright ym. 2003). Esimerkiksi, kun oppilas ymmärtää ekosysteemin hiilen kierron, on hänellä valmiudet ymmärtää kestäväää kehitystä ja ilmastonmuutosta.

## 2.4. Tavoitteena ymmärtävä oppiminen

### 2.4.1. Ymmärtäminen on tietorakennelmien muutosta

Ymmärtäminen on jäsentynyttä tietämistä (Leinonen 2002) ja sillä on keskeinen rooli oppimisessa (Rauste-von Wright ym. 2003). Ymmärtäminen on käsitteen perusteltua käyttöä laajemmassa ja mahdollisesti uudessa viitekehyksessä. Ymmärtäminen syntyy aktiivisen ajatusten rakenteiden täydentämisen ja jäsentämisen kautta. Tällöin erilaiset mielikuvat ja eritasoiset käsitteet järjestyvät kokonaisuudeksi eli oppilaan ymmärrykseksi ilmiöstä. Ymmärtäminen on uuden tiedon yhdistämistä omiin tietorakennelmiin. Kukin oppilas valitsee itse käsitteet, jotka hän pyrkii liittämään aiempiin rakenteisiin. Tällöin on mahdollista, ettei uutta tai aiemman tiedon kanssa ristiriidassa olevaa tietoa liitetä tietorakennelmiin. Lisäksi ymmärtämisen ehtona ovat tietämisen mielekkyys ja käsitteille annetut mielekkäät perustelut (ks. Leinonen 2002, Rauste-von Wright ym. 2003, Ahoranta 2004).

Mielekkäässä ja ymmärtävässä oppimisessa pyritään siis hyödyntämään työtapoja, jotka tukevat ymmärryksen syntyä. Ymmärtävän oppimisen lähtökohtana ovat tietorakenteissa tapahtuvat laadulliset muutokset, jotka näkyvät käsitteiden muodostamien väittämien

kautta. Tärkeämpiä oppimisen arvioinnissa ovatkin omaksutut tulkinnat ilmiöille kuin itse opittujen asioiden määrä (Rauste-von Wright ym. 2003). Tosin myös määrällistä oppimista tapahtuu käsitteiden tarkentumisen ja uusien käsitteiden lisääntymisen kautta.

#### 2.4.2. Käsitekartat kertovat tekijänsä ajattelusta

Käsitekartat konkretisoivat opittujen käsitteiden väliset yhteydet ja sopivat siksi hyvin ymmärryksen tutkimiseen (Kärkkäinen 2004). Novak kehitti käsitekartat alun perin Ausubelin mielekkään oppimisen teorian työkaluiksi (Assaraf & Orion 2005) ja myöhemmin niitä on kehittänyt ja tutkinut mm. Åhlberg osana eheyttävän kasvatuksen teoriaa (Kankkunen 1999, Kärkkäinen 2004).

Käsitekartat täydentävät puheen, kirjoitusten ja piirrosten antamaa kokonaiskuvaa tutkittavasta ilmiöstä ja tuottavat yksityiskohtaista tietoa tekijänsä ajattelusta (ks. Åhlberg 1990, 1991, 1998, 2001). Käsitekarttojen sisältämät käsitteet paljastavat sekä opettajalle että oppilaalle itselleen mahdolliset virheelliset ja väärin ymmärretyt käsitteet. Käsitteiden lisäksi myös käsitekarttojen puutteelliset ja virheelliset linkit kertovat laatijansa ajattelusta (Kinchin 2001). Käsitekarttoista on helppo erottaa ajattelun perusyksiköitä, toisin kuin rön-syilevästä puheesta tai kirjoitelmista. Ajattelun perusyksiköitä ovat aistihavaintoihin pohjautuvat mielikuvat ja ajattelun kautta merkityksensä saaneet käsitteet. Käsitekartoissa henkilön on mahdollista korostaa ajattelemansa ilmiön keskeisimpiä käsitteitä ja niiden välisiä suhteita. Käsitteet ja niiden väliset linkkisanat puolestaan muodostavat oikeita tai virheellisiä väittämiä eli propositioita (Åhlberg 1990).

Käsitekarttatekniikka sopii Åhlbergin (1991) mukaan hyvin oppilaan ajattelun kehittymisen seuraamiseen. Melko usein aloittelijan käsitekartat jäävät irrallisiksi mielikuvien ketjuiksi, koska hänen on vaikea löytää käsitteitä yhdistäviä sanoja tai hänellä on puutteelliset taidot laatia käsitekarttoja. Harjoittelemalla käsitekarttojen laatimista oppiminen muuttuu kuitenkin mielekkääksi syväoppimiseksi ja käsitekartat muuttuvat yhtenäisimmiksi ja niiden sisältämät käsitteet lisääntyvät.

Käsitekartat tuovat konkreettisesti esiin osan oppilaiden kognitiivisista rakenteista ja mielikuvien verkostosta. Yhdessä muiden eri menetelmien kanssa käsitekartat luovat kokonaiskuvan oppilaan ymmärryksestä ja systeemiajattelusta. Ahoranta (2004) on esimerkiksi käyttänyt opetuksessaan käsitekarttoja yhdessä Vee-heuristiikan kanssa ja havainnut tutkimuksissaan nämä menetelmät käyttökelpoisiksi sekä oppilaalle että opettajalle. Kärkkäinen (2004) puolestaan on käyttänyt tekniikoita tutkiessaan kahdeksaluokkalaisten talviekologiaan liittyvien käsitteiden ymmärtämistä. Myös Eloranta (1991) on hyödyntänyt käsitekarttoja biologian käsitteiden oppimisen tutkimiseen ala-asteen 3.-6.-luokkalaaisilla. Laajempaan tutkimukseen käsitekarttoja on soveltanut Kankkunen (1999), jonka toimintatutkimus kohdistui perusopetuksen alaluokkalaisten kykyyn laatia käsitekarttoja eri aihepiireihin liittyen sekä käsitekarttojen avulla saatuun tietoon oppilaiden ymmärryksestä.

### 3. EKOSYSTEEMIEN EKOLOGIAA

#### 3.1. Ekosysteemi luonnonjärjestelmänä

##### 3.1.1. Ekosysteemin rakenne ja toiminta

Ekologia on tieteenala, joka mm. tutkii eliöiden välisiä vuorovaikutuksia ja energian ja aineen kulkua ekosysteemeissä. Ekosysteemi on tietyn paikan eliöyhteisön ja elottoman ympäristön muodostama kokonaisuus (Hanski ym. 1998, Krebs 2001). Lajien runsaus ja levinneisyys ovat puolestaan seurausta eliöiden ja elottoman ympäristön vuorovaikutuksista.

ta (Krebs 2001). Ekosysteemin eloton osa muodostuu alueen fysikaalisista ja kemiallisista tekijöistä, kuten lämpötilasta, valoisuudesta, happamuudesta ja suolaisuudesta. Ympäristötekijät vaikuttavat mm. eliöiden kasvuun ja lisääntymiseen. Ekosysteemin elollinen osa muodostuu eliöyhteisöistä, populaatioista ja yksilöistä. Eliöyhteisössä eliöiden väliset suhteet, kuten saalistus, laidunnus, kilpailu ja mutualismi määrittelevät kunkin lajin populaatioiden ominaisuuksia. Esimerkiksi tuottajien, kasvinsyöjien ja petojen populaatiot säätelevät toistensa levinneisyyttä ja tiheyttä (Krebs 2001).

Evoluution myötä eliölajit ovat sopeutuneet hyödyntämään ekosysteemin eri ympäristötekijöitä ts. sopeutuneet lajienvälisen kilpailun kautta ns. omaan ekologiseen lokeroon (ekolokeroon). Laji muuttuu, kun populaatioiden yksilöihin kohdistuvat muuttuvat valintapaineet. Sopeutuminen on seurausta yksilöiden välisestä muuntelusta ja erilaisista kelppoisuuksista (fitness). Muutokset lajin yksilömäärissä, tiheyksissä tai biomassan määrässä vaikuttavat puolestaan koko eliöyhteisön rakenteeseen (Krebs 2001). Eliöiden sopeutuminen elinympäristöönsä evoluution myötä ylläpitää ekosysteemien syklistä muutosta (suksessiota), kuten lammen umpeenkasvua tai pellon metsittymistä.

Ekosysteemin toimintaa tutkitaan usein ravintoverkkojen, ekosysteemin biomassan sekä aineen ja energian kulun avulla (Hanski ym. 1998, Krebs 2001). Ekosysteemissä eliöt voidaan sijoittaa eri trofiatasoille sen mukaan, miten eliöt saavat elintoimintoihinsa tarvitsemansa energian ja aineen. Yhteyttämiseen kykenevät alkeiseliot, levät ja kasvit ovat ekosysteemien tuottajia. Tuottajat sitovat energiaa ja ravinteita biomassaansa, jota eriasteiset kuluttajat hyödyntävät. Yleisemmin ekosysteemien energia on peräisin auringon säteilystä, jota kasvit, levät ja syanobakteerit sitovat fotosynteesissä. Ekosysteemin energian lähteenä voivat olla myös epäorgaaniset yhdisteet, joista alkeiseliot saavat sidottua energiaa erilaisten hapetusreaktioiden avulla (Campbell ym. 1999).

### 3.1.2. Solujen energiametabolia ekosysteemin toiminnan perustana

Solujen energia-ainenvaihdunta perustuu kemiallisiin hapetuspelkistysreaktioihin, joissa elektroneja siirretään atomilta toiselle. Hapetus-pelkistysreaktiot ovat tasapainoreaktioita, joissa elektroneja vastaanottava aine (yleensä happi) pelkistyy ja elektronit vastaanottava aine hapettuu (Campbell ym. 1999). Soluissa hapetuspelkistysreaktiot tapahtuvat monivaiheisesti entsyymien avustamina. Osa entsyymeistä toimii ns. elektroninsiirtäjäkoentsyymeinä (esim. NAD<sup>+</sup>, NADP<sup>+</sup>), jotka sitovat hapetettavan aineen elektronit ja välittävät elektronit joko elektroninsiirtoketjuun tai muodostuvan yhdisteen sidoksiin (Heino & Vuento 2007). Auringon säteilyenergia tai kemiallisten sidosten katkeamisesta vapautuva energia sidotaan soluissa ATP-molekyyleihin, jotka edelleen aktivoivat muita yhdisteitä (Heino & Vuento 2007). Ekosysteemin aineen ja energian kulun ymmärtämisen perustana ovat soluissa tapahtuvien energian ja aineen muutokset, joiden periaatteina ovat aineen ja energian häviämättömyyden (termodynamiikan ensimmäinen perussääntö) lait (Heino & Vuento 2007).

Fotosynteesi on kemiallinen hapetuspelkistysreaktio, jossa epäorgaanisista yhdisteistä: hiilidioksidista ja vedestä valmistuu Auringon valoenergian avulla orgaanisia yhdisteitä. Valosta saatu energia sidotaan sokeriyhdisteisiin (hiilihdyraatit), jotka toimivat elävien solujen yleisimpinä energialähteinä. Kasveilla fotosynteesi tapahtuu solun viherhiukkasissa kahdessa vaiheessa, joista ensimmäiseen tarvitaan valoa ja jälkimmäinen yhdistää hiilidioksidimolekyylit glukoosi-sokeriksi. Ensimmäisessä ns. valoreaktiossa valokvantit eli fotonit vangitaan viherhiukkasen yhteyttämiskalvoston (tylakoidit) yhteyttämisväriaineisiin (fotosynteettiset pigmentit) (Heino & Vuento 2007). Pigmentit absorboivat eli sitovat valon eri aallonpituuksia (fotoneita). Kasvien väriaineet absorboivat parhaiten punaisia ja

sinisiä aallonpituuksia, kun taas vihreän aallonpituudet heijastuvat kasvien vihreistä osista (Heino & Vuento 2007).

Kasveissa lehtivihreä eli klorofylli a on pigmentti, joka on valoreaktion keskeisin väriaine. Sen ympärillä on muita pigmenttejä, jotka yhdessä klorofylli a:n kanssa muodostavat kahdenlaisia valoa vangitsevia fotosysteemejä (ns. valohaaveja): P680 ja P700 (Heino & Vuento 2007). Nämä muut väriaineet, kuten keltaisen ja oranssin aallonpituuksia sitovat karotenoidit, pystyvät sitomaan fotoneita ja siirtämään elektronien sisältämää energiaa fotosysteemin keskusmolekyylille eli klorofylli a:lle. Elektronien energinen tila syntyy, kun valo osuessaan pigmenttimolekyylisiin saa elektronin siirtymään atomin korkeampienergiselle elektronikuorelle. Sanotaan, että elektroni virittyy. Tämä virittynyt tila pyrkii purkautumaan nopeasti, mistä syystä kasvien pigmenttien elektronit virittyvät ketjumaisesti vuoronperään. Lopulta energia saadaan siirretyksi reaktiokeskuksen klorofylli a:lle. Tapahtumaketjun päätteeksi reaktiokeskukseen muodostuu positiivinen varaus, jonka tasoittamiseksi klorofylli a käyttää vedeltä saamiaan elektroneja. Samalla vesimolekyyli hajoaa ja muodostuu happea. Vapautunut happi joko siirretään kasvisolun mitokondrioihin soluhengityksen lähtöaineeksi tai poistetaan kasvien lehdistä ilmarakojen kautta. Fotosysteemissä elektronit siirtyvät ns. elektroninsiirtoketjussa ja virittyneet elektronit pelkistävät NADP<sup>+</sup>-vedynsiirtäjät, jotka siirtävät elektronit pimeäreaktioon. Jos elektronien sisältämää energiaa ei siirretä, vapautuu se kasvista lämpönä. Valoreaktion yhteydessä syntyy myös runsasenergiisiä ATP-molekyylejä, jotka myös jatkavat pimeäreaktioon (Campbell ym. 1999, Heino & Vuento 2007).

Varsinainen yhteyttäminen eli hiilidioksidimolekyylien synteesi tapahtuu viherhiukasten välitilassa ns. pimeäreaktiossa, jossa Calvinin kierron pelkistysreaktioiden kautta muodostuu glukoosi-sokeria (Campbell ym. 1999). Reaktiosarja, jossa kolme hiilidioksidimolekyyliä ja vedynsiirtäjien elektronit yhdistetään ATP-energian avulla, sisältää useita katalysoivia entsyymejä (Heino & Vuento 2007). Muodostuneen glukoosin solu käyttää soluhengityksessään tai varastoi polysakkarideiksi, kuten tärkkelykseksi ja selluloosaksi. Hiilihydraatit toimivat myös muiden orgaanisten yhdisteiden rakennusaineina. Muiden orgaanisten yhdisteiden valmistamiseen kasvit tarvitsevat maaperän ravinteita, esimerkiksi fosforia nukleiinihappojen ja rikkiä proteiinien rakennusosiksi.

Solujen energialähteitä ovat ensisijaisesti hiilihydraatit ja rasvat. Soluhengitys on hapetuspelkistysreaktio, jossa glukoosin asteittainen hapettaminen tuottaa runsaasti energiaa. Soluhengityksessä on kolme vaihetta: glykolyysi, sitruunahappokierto ja fotofosforylaatio, joiden aikana sokerin sisältämät elektronit siirtyvät vähitellen hapelle. Ensimmäisessä vaiheessa glukoosi pilkkoutuu solulimassa vaiheittain kahdeksi pyruvaattimolekyyliseksi (Heino & Vuento 2007). Aerobiset solut siirtävät pyruvaatit mitokondrioon, jossa hapettuminen etenee monivaiheisessa entsyymien katalysoimassa reaktiossa. Anaerobisissa soluissa, kuten hiivasoluissa, pyruvaatit pelkistyvät solulimassa etanoliksi ja soluhengitys päättyy.

Aerobisissa soluissa soluhengitys jatkuu mitokondrion ulko- ja sisäkalvoilla. Sitruunahappokierrossa eli Krebsin syklissä pyruvaatit hajoavat edelleen hiilidioksidiksi (Campbell ym. 1999). Ensimmäisenä pyruvaatit muutetaan asetyyli-koliiniA:ksi, jolloin vapautuu hiilidioksidia ja elektroneja, jotka sidotaan NADH-vedynsiirtäjiin (Heino & Vuento 2007). Asetyyli-koliiniA hapettuu edelleen, jolloin vapautuu lisää hiilidioksidia ja elektroneja sitoutuu NAD<sup>+</sup> ja FAD -vedynsiirtäjiin. Energiaa ei ole vielä tässä vaiheessa vapautunut, vaan soluhengitykseen tarvitaan kolmas vaihe, jossa vedynsiirtäjiin sitoutuneet elektronit (NADH ja FADH<sub>2</sub>) siirretään elektroninsiirtoketjussa vaiheittain hapelle, joka pelkistyy vedeksi (Heino & Vuento 2007). Lisäksi mitokondrion sisäkalvolla valmistuu energiaa sisältäviä ATP-molekyylejä, joita solu käyttää mm. aktiiviseen aineiden kuljetukseen solu-



kalvolla tai lihassolujen supistumiseen (Campbell ym. 1999). Soluhengityksen lopputuotteita ovat siis hiilidioksidi, vesi ja kemiallinen energia, jota laskennallisesti saadaan yhdestä moolista glukoosia 38 ATP-molekyylin verran eli noin 686 kcal:a (Campbell ym. 1999).

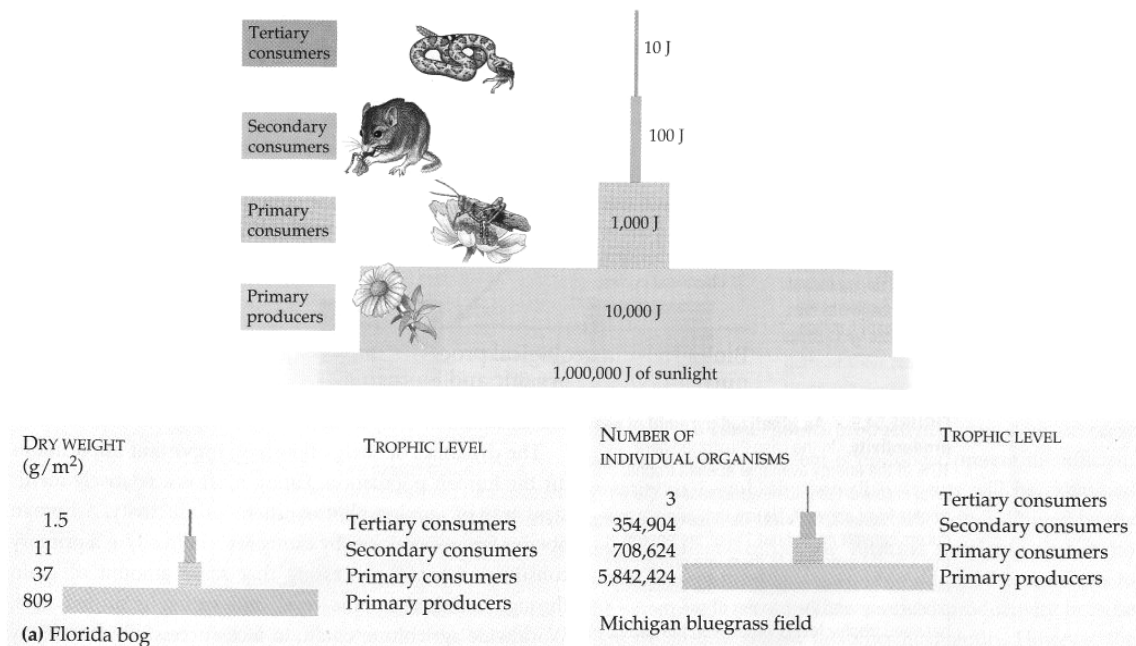
### 3.1.3. Ekosysteemin perustuotanto

Kasvit ovat energian suhteen ekosysteemin omavaraisia eli autotrofisia eliöitä. Ne sitovat energiaa ja aineita fotosynteesissä ja vapauttavat sitomaansa energiaa omassa soluhengityksessään. Vapautuneen energian ne käyttävät elintoimintoihinsa. Kasvien ja muiden yhteyttävien eliöiden sitoma energia ja aineet ovat ekosysteemin perustuotantoa, joka voidaan laskea ja ilmoittaa biomassan määränä pinta-alayksikköä kohden (Hanski ym. 1998). Kokonais- eli bruttoperustuotannoksi kutsutaan kasvien sitoman energian tai aineen määrää tiettyinä ajanjaksona (Hanski ym. 1998). Nettoperustuotannossa huomioidaan kasvien oma energian tai aineen kulutus, joka on usein 50–75 % luokkaa (Krebs 2001). Nettoperustuotanto on energian ja aineen määrä, joka on tarjolla kuluttajille (Hanski ym. 1998). Perustuotanto vaihtelee eri ekosysteemeissä johtuen kasveille tarjolla olevista resursseista. Yleensä perustuotanto on suurta päiväntasaajan molemmin puolin kääntöpiireille asti, koska nämä alueet saavat runsaimmin Auringon säteilyä. Kasvillisuuden energiansitomistehokkuus lasketaan nettotuotannon suhteesta Auringosta tulleeseen valoenergiaan (Krebs 2001). Yleistä on, että kasvit hyödyntävät vain noin prosentin saatavilla olevan säteilyn energiasta (Hanski ym. 1998).

Kasvien tuotantoa rajoittavat useat ympäristötekijät, kuten valo, lämpötila ja vesi. Valoisuus vaihtelee eri ekosysteemeissä, esimerkiksi rehevässä järvässä valon määrä pintakerroksissa on huomattavasti suurempi kuin pohjakerroksissa, mikä rajoittaa voimakkaasti vesiekosysteemin perustuotantoa (Krebs 2001). Vesi puolestaan rajoittaa maaekosysteemien toimintaa (Hanski ym. 1998). Kasvien fotosynteesin tehokkuutta on pyritty mittaamaan maaekosysteemeissä kasvin vastaanottaman hiilidioksidin määrän ja vesiekosysteemeissä kasveista vapautuneen hapen määrän avulla. Hiilidioksidin mittaamisessa käytetään hiilen radioaktiivisia isotooppeja (Krebs 2001).

### 3.1.4. Energian ja aineen kulku tuottajilta kuluttajille

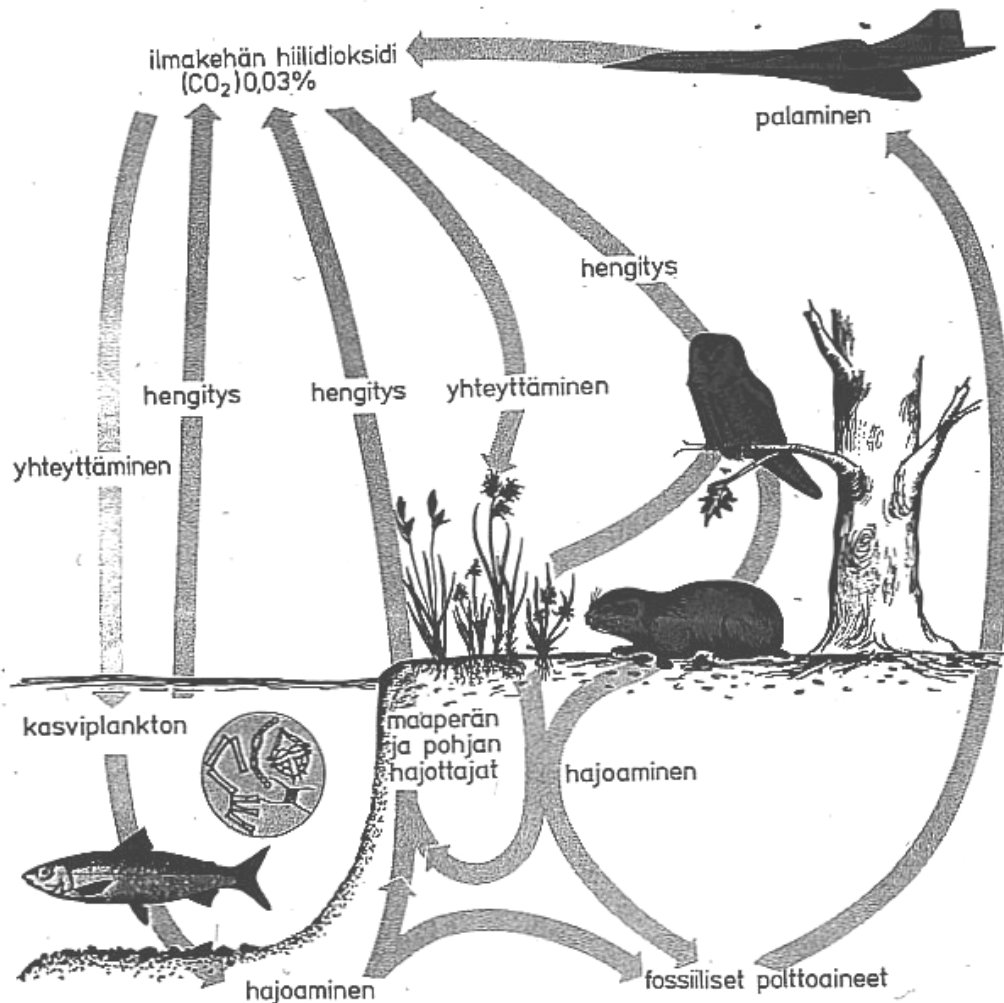
Ekosysteemin eläimet, sienet, alku- ja alkeiseläimet ovat energian ja aineen suhteen toisenvärisiä eli heterotrofisia kuluttajia. Toisenväriset eliöt hyödyntävät perustuotantoa omien elintoimintojen ylläpitämiseen, kasvuun ja lisääntymiseen. Heterotrofisten eliöiden tuottama biomassa on ns. jatko- eli sekundaarituotantoa, joka siirtyy kuluttajalta toiselle ravintoketjujen ja – verkkojen kautta. Ravintoverkon tuottajat, kuluttajat ja hajottajat voidaan esittää pyramideissa trofiatasoina (kuva 3). Keskimäärin vain noin kymmenesosa tuottajien sitomasta energiasta tai biomassasta siirtyy kuluttajille (Hanski ym. 1998).



Kuva 3. Pyramideilla kuvataan ekosysteemin käyttöenergian, eliöiden biomassan ja yksilöiden määrää (Campbell ym. 1999, 1137-1138).

Ekosysteemissä toisenvaraiset eliöt hyödyntävät ravinnon sisältämää energiaa. Hanskin ym. (1998) mukaan energian siirtymiseen vaikuttavat eliöiden kulutus-, assimilaatio- ja tuotantotehokkuudet. Kulutustehokkuus ilmaisee ylemmälle trofiatasolle siirtyvän energian määrää, esimerkiksi nettoperustuotannon siirtymistä laiduntajille tai jatkotuotannon siirtymistä pedoille. Assimilaatiotehokkuus (oppikirjoissa ekologinen tehokkuus) kuvaa ruuan-sulatuselimistössä imeytyneen ravinnon sisältämää energiaa, joka on käytettävissä eliön omaan soluhengitykseen. Kasvinsyöjillä tehokkuus jää lihansyöjiä pienemmäksi huonosti sulavan selluloosa- ja ligniinipitoisen ravinnon takia. Tuotantotehokkuus puolestaan ilmoittaa energiamäärän, jonka eliö pystyy sitomaan omaan biomassaansa (jatkotuotannon määrä). Vaihtolämpöisillä eläimillä tuotantotehokkuus on tasalämpöisiä suurempi, koska energiaa ei kulu ruumiinlämmön ylläpitämiseen.

Toisin kuin energia ekosysteemin sisältämät aineet, kuten hiili ja happi palautuvat tuottajien käyttöön kuluttajien hengityksen ja hajotustoiminnan seurauksena. Ekosysteemin ravinteet ovat peräisin rapautuneesta maaperästä, ilmakehästä ja vesistöistä. Maaperä sisältää mm. kalsiumia, rautaa, magnesiumia ja fosforia (Hanski ym. 1998). Ilmasta suurin osa on typpeä (78 %) ja vain pieni osa hiilidioksidia (0,04 %). Hiilidioksidi on kuitenkin harvoin fotosynteesiä rajoittava tekijä (Hanski ym. 1998), koska kasvien soluhengityksessä lopputuotteena vapautuva hiilidioksidi käytetään fotosynteesin raaka-aineena. Aineet siirtyvät ravintoketjuissa biomassaan sitoutuneena ja hajottajat muuttavat orgaaniset aineet jälleen epäorgaanisiksi maaperän mineraaleiksi tai ilmakehän hiilidioksidiksi (kuva 4).



Kuva 4. Hiilen kierto ekosysteemissä (Sisula 1980).

### 3.2. Oppilaiden ymmärrys ekosysteemin osista ja prosesseista

#### 3.2.1. Ekosysteemi käsitteen ymmärtäminen

Ekosysteemiin liittyviä alakäsitteitä ja kokonaisymmärrykseen tarvittavia avainkäsitteitä on tutkittu runsaasti (ks. mm. Leach ym. 1995, 1996a, 1996b). Tutkimuksissa korostuu vahvasti se, että oppilaiden tulisi hallita paremmin ekosysteemin aineen ja energian kulkua. Carlssonin (2002a, b) mukaan ekosysteemiajattelu perustuu fotosynteesin sekä energian ja aineen kulun ymmärtämiseen. Özay & Öztas (2003) puolestaan korostavat fotosynteesin, hengityksen ja energian välistä yhteyttä ja Lin & Hu (2003) fotosynteesin, soluhengityksen ja ravintoketjujen muodostamaa kokonaiskuvaa. Oppilaan tulisi olla siis selvillä energia- muotojen muutoksista: säteilyenergian (valon) sitoutumisesta sokeriin potentiaalienergiaksi (kemialliseksi sidosenergiaksi) ja edelleen potentiaalienergian muuttumisesta mm. lämpö- ja liike-energiaksi. Lisäksi ekosysteemin toiminnan ymmärtäminen vaatii ymmärrystä kemiallisten yhdisteiden sisältämien atomien uudelleen järjestäytymisestä hapetuspelkistysreaktioissa.

Havaitut ongelmat ekosysteemin kokonaisuuden ymmärtämisessä voivat aiheutua ekosysteemi-käsitteen vaikeasta määrittelytavasta. Käsite on kompleksinen ja ekosysteemi itsessään sisältää lukuisia muuttuvia ja kehittyviä osia (Haila & Levins 1992). Ekosysteemiä voidaan tarkastella sen eliöiden välisten vuorovaikutusten, energian ja aineen kulun tai paikallisten häiriöiden avulla. Eri tarkastelutavat käyttävät erilaisia käsitteitä, esimerkiksi

kasvit saavat merkityksensä joko rakenteensa (lehdet, varsi, juuret) tai toimintansa (fotosynteesi, soluhengitys) perusteella.

Ekosysteemi-käsitteen ymmärtämistä tutkinut Larna (1985) havaitsi perusopetuksen yläluokkalaisten hallitsevan käsitteen vain tyydyttävästi mm. siksi, että oppilaat eivät ymmärtäneet ekosysteemiä määritteleviä käsitteitä eliö ja eloton luonto. Ekosysteemi-käsitteeseen liittyi myös useita (24 %) virheellisiä määritelmiä, kuten ”ekosysteemi on luonnon ravintoketju” tai ”Se on systeemi, jossa syödään toisia” (Larna 1985). Myös Adeniyi (1985) havaitsi, että puolet oppilaista määritteli ekosysteemin virheellisesti elottomasta luonnosta erillään olevaksi elävien eliöiden väliseksi vuorovaikutukseksi (vrt. eliöyhteisö).

### 3.2.2. Aine ja energia

Ekosysteemin toiminta perustuu keskeisesti aineen ja energian muutoksiin. Eliöiden solut sisältävät erikokoisia aineita; pienimpiä yhdisteitä ovat vesi ja hiilidioksidi sekä epäorgaaniset ionit ja suurimpia ovat orgaaniset molekyylit, kuten polysakkaridit, proteiinit ja nukleiinihapot (Heino & Vuento 2007). Kemialliset yhdisteet rakentuvat atomeista, joita oppilaiden on todettu ymmärtävän heikosti eliöiden rakennusosiksi (Stavy ym. 1987) tai oppilaat ajattelevat ne enemmänkin energiaksi kuin aineeksi (Hogan & Fisherkeller 1996). Usealle oppilaalle myös kemiallisten reaktioyhtälöiden ja yhdisteiden kaavojen ymmärtäminen tuottaa suuria ongelmia, esimerkiksi glukosin  $C_6H_{12}O_6$  sisältämät alkuaineet jäävät helposti epäselviksi (Stavy ym. 1987, Anderson ym. 1990). Oppilaat eivät myöskään ymmärrä hiilidioksidin sisältämän hiiliatomin ja sokerin sisältämien hiiliatomien välistä yhteyttä (Stavy ym. 1987).

Aineet voivat esiintyä ekosysteemissä kolmessa olomuodossa: kiinteänä, nesteinä ja kaasuna. Aineen olomuoto määräytyy siinä olevien atomien järjestyksestä ja liikkeestä, johon lämpötila ja paine vaikuttavat (Aho ym. 2003). Olomuodonmuutokset puolestaan ovat keskeisiä aineiden kierroissa, esimerkiksi hydrologisessa kierrossa. Ekosysteemissä kaasumaisina esiintyvät aineet, esimerkiksi ilman typpi- ja happikaasut, mutta ennen kaikkea hiilidioksidi ovat osoittautuneet vaikeasti ymmärrettäviksi (Hogan & Fisherkeller 1996). Oppilaat eivät miellä hiilidioksidia kasvien kasvun ja sokerin valmistuksen kannalta kovinkaan merkittäväksi aineeksi, vaikka tietäisivät kaasujen massasta (Stavy ym. 1987, Eisen & Stavy 1988). Osa oppilaista myös mieltää hiilidioksidin hapen raaka-aineeksi (Anderson ym. 1990).

Energia on Taberin (1989) mukaan laaja käsite, josta käytetään liian monia synonyymejä tai virheellisiä määritelmiä. Hän jakaa energian muodot kineettiseen, ääni-, lämpö-, sähkö-, säteily- ja potentiaalienergiaan. Auringosta tuleva säteilyenergia saa puolestaan useita muotoja aallonpituuksien mukaan, kuten valo ja UV. Potentiaalienergiaa on mm. kemiallisissa sidoksissa (Taber 1989).

### 3.2.3. Aineen ja energian muutokset fotosynteesissä ja soluhengityksessä

Aine ja energia muuttuvat solun biokemiallisissa reaktioissa: fotosynteesissä ja soluhengityksessä. Fotosynteesistä on vaikea tehdä suoria havaintoja, mistä johtuen käsite jää erillisen arkitiedosta. Fotosynteesiin liittyvä tieto on usein ulkoa opeteltua ja muistinvaraista, kuten kasvit valmistavat hiilidioksidista happea (Anderson ym. 1990). Hogan & Fisherkeller (1996) ovat todenneet myös, että oppilaiden on hankala hahmottaa ekosysteemin toiminnan olevan riippuvainen vihreiden kasvien fotosynteesistä. Heikko ymmärrys energian sitomisesta fotosynteesissä, siirtymisestä ravintoketjuissa ja vapautumisesta soluhengityksessä vaikeuttaa koko ekosysteemin toiminnan ymmärtämistä (Anderson ym. 1990, Wa-

heed & Lucas 1992, Özay & Öztas 2003). Energianmuutokset fotosynteesissä ja hengityksessä ovatkin osoittautuneet kokonaisymmärryksen kompastuskiviksi (Eisen & Stavy 1988, 1993), koska energia on mukana kaikissa elottoman ja elollisen luonnon tapahtumisissa (Stavy ym. 1987, Eisen & Stavy 1988, Anderson ym. 1990, Aho ym. 2003).

Ekosysteemin energia on tavallisemmin lähtöisin Auringon säteilyenergiasta. Oppilaille syntyy virheellisiä ajatuksia mm. silloin, kun he eivät näe Aurinkoa elämän ylläpitäjäksi (Aho 1987, Eisen & Stavy 1988) tai auringonvaloa ei nähdä kasvien energialähteeksi, vaan ainoastaan välttämättömäksi kasvin kasvulle (Anderson ym. 1990). Auringon lisäksi oppilailla saattaa olla käsityksiä myös muista energialähteistä, kuten vedestä, maaperästä ja ravinteista (Anderson ym. 1990). Kasvien toimintaa ja merkitystä biomassan tuottajina ei ymmärretä, vaan kasvit ajatellaan ekosysteemin tuottajiksi vain siksi, että ne vapauttavat happea (Özay & Öztas 2003).

Fotosynteesi ja hengitys ovat kokonaisymmärryksen kannalta keskeisiä ekosysteemin tapahtumia, koska ne yhdistävät ekosysteemin elottoman ja elollisen osan hiilen- ja hapenkiertoissa (Anderson ym. 1990). Oppilailla on kuitenkin useita väärinymmärryksiä kasvien ja eläinten hengityksestä. Kasvien ei ajatella hengittävän joko ollenkaan tai sitten vain öisin, kun ne eivät yhteytä (Stavy ym. 1987). Kasvien hengitys saatetaan ymmärtää myös fotosynteesissä tapahtuvaksi hiilidioksidin ja hapen vaihdoksi (Barker & Carr 1989c), joka kääntyy päinvastaiseksi tilanteeksi yöllä (Stavy ym. 1987, Alparslan ym. 2003, Özay & Öztas 2003). Käsitteenä hengitys saatetaan mieltää myös pelkäksi kaasujen vaihdoksi keuhkoissa tai tilanteeksi, jossa ihmiset vapauttavat ilmakehään hiilidioksidia ja kasvit happea (Eisen & Stavy 1988, Anderson ym. 1990). Ekosysteemin toiminnan kannalta olisikin ehkä mielekkäämpää puhua soluissa tapahtuvasta soluhengityksestä (Anderson ym. 1990). Myös ajatus siitä, että vain eläimet hengittävät estää käsitteellisen muutoksen syntymä (Songer & Mintzes 1994). Tähän voi yhtenä syynä olla oppilailla oleva ajatus siitä, että kasvit varastoivat sokerin tärkkelykseksi, eivätkä käytä sitä omana energialähteenään (Kinchin 2000c) tai kasveja ei ajatella energiaa tarvitseviksi eläviksi olennoiksi (Stavy & Wax 1989).

Aiemmin on todettu oppilailla olevan mielikuva elävien solujen energian tarpeesta, mutta tästäkin huolimatta kasvien hengittämistä on vaikea ymmärtää (Haslam & Treagust 1987). Virhekesitysten perimmäisenä ongelmana on Andersonin ym. (1990) mukaan oppilaiden heikko ymmärrys kasvien ja eläinten aineen ja energian käytöstä. Kasvien autotrofisuus ja kuluttajien heterotrofisuus ovat saaneet liian suppeat merkitykset oppilaiden tietorakenteissa.

#### 3.2.4. Autotrofiset tuottajat ja heterotrofiset kuluttajat

On havaittu, että ymmärrys ekosysteemistä syvenee, kun opetuksen aluksi kiinnitetään huomiota asioihin, joita eliöt tarvitsevat elääkseen (Eisen & Stavy 1993). Tuottajien ja erilaisten kuluttajien eroavaisuudet ravinnon hankinnan suhteen hämmentävät oppilaita, koska he antavat eri merkityksiä kasvien ja eläinten ravinnolle (Anderson ym. 1990). Oppilailla on runsaasti erilaisia väärinymmärryksiä ravinteista ja kasvien kasvusta (Stavy ym. 1987, Hogan & Fisherkeller 1996). Maaperän ravinteet saatetaan ajatella kasvien ravinnoksi (Valkonen 2002) tai kasvien ajatellaan ”syövän” juurillaan orgaanisia aineita maaperästä (Stavy ym. 1987). Harvemmin oppilaat ajattelevat ravinteiden olevan peräisin Auringosta (Hogan & Fisherkeller 1996). Kasvien omavaraisuuden ymmärtämistä puolestaan sotkee ajatus, että kasvit tarvitsevat eläimiltä vapautunutta hiilidioksidia (Songer & Mintzes 1994).

Tuottajat, kuluttajat ja hajottajat muodostavat ekosysteemin ravintoketjuja ja –verkkoja. Käsitteenä ravintoketju saatetaan ymmärtää eliöiden väliseksi syömisketjuksi, jossa edellinen eliö on seuraavalle ruokaa (Kaunismaa & Äikäs 1998, Majamaa & Ollila 1998). Ravintoketjujen tuottajien, kuluttajien ja hajottajien väliset yhteydet voivat olla myös heikosti tunnettuja tai kaikkia ravintoketjun osia ei osata mainita (Lin & Hu 2003). Oppilailla on havaittu olevan vaikeuksia kehittää ajatuksiaan ravintoketjusta ravintoverkoksi, koska he ajattelevat liikaa peto-saalis – suhteita (Webb & Boltt 1990). Ravintoverkkojen hajottajia ja niiden toimintaa puolestaan ymmärretään erittäin huonosti (Hogan & Fisherkeller 1996, Majamaa & Ollila 1998). Leach ym. (1996a) tekivät havainnon, etteivät oppilaat selittäneet hajoamista mikrobitoimintaan vaikuttavilla fysikaalisilla tekijöillä, kuten lämpötilalla tai kosteudella. Oppilailla ei tällöin ollut tarvetta kuvata hajoamista tarkasti, vaan aineiden häviämistä pidettiin yksiselitteisenä. Jos aineet vain katoaisivat ekosysteemistä, olisi se ensinnäkin aineen häviämättömyyden lain vastaista, mutta myös este aineiden kierron ymmärrykselle.

Aiemmat havainnot osoittavat oppilaiden antavan virheellisiä ja puutteellisia merkityksiä ekosysteemin alakäsitteille (taulukko 1). Tästä syystä oppilaiden kokonaiskäsitely ekosysteemistä jää usein heikoksi. Tässä tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota oppilaiden käsityksiin ekosysteemin osista ja niiden välisistä yhteyksistä.

Taulukko 1. Ekosysteemin tieteelliset käsitteet ja oppilaiden käsitykset ekosysteemin osista ja prosesseista.

<b>Käsite</b>	<b>Tieteellinen määritelmä</b>	<b>13-16 –vuotiaan oppilaan käsitys</b>
<b>Ekosysteemi</b>	Alueen eliöyhteisö ja eloton luonto (Hanski ym. 1998, Krebs 2001). Toiminnallinen kokonaisuus (Tirri ym. 2001).	Eliöiden välinen vuorovaikutus, joka on erillään elottomasta luonnosta (Adeniyi 1985). Luonnon tasapaino ja kiertokulku (Larna 1985).
<b>Energia</b>	Systeemissä oleva potentiaali-, liike-, lämpö-, sähkö- ja kemiallinen energia (Tirri ym. 2001).	-
<b>Yhteyttäminen</b>	Aineenvaihduntaa, jossa epäorgaanisten aineet muutetaan energiapitoisiksi orgaanisiksi molekyyleiksi (Barker & Carr 1989c, Tirri ym. 2001).	-
<b>Fotosynteesi</b>	Valoenergian avulla tapahtuva hiilidioksidin muuttaminen hiilihydraateiksi (Tirri ym. 2001).	Kasvit hengittävät hiilidioksidia ja vapauttavat happea (Stavy ym. 1987, Barker & Carr 1989c).
<b>Kemosynteesi</b>	Orgaanisten aineiden synteesi, jonka energia tulee epäorgaanisten aineiden hapettumisesta (Tirri ym. 2001).	-
<b>Soluhengitys</b>	Aineenvaihduntaa, joka tuottaa solulle energiaa (Tirri ym. 2001).	Kaasujen vaihtoa (Stavy ym. 1987). Käänteinen fotosynteesi: öisin kasvit ottavat happea ja vapauttavat hiilidioksidia (Alparslan ym. 2003).
<b>Ravinto</b>	Eliöiden elintoimintoja ylläpitävät aineet ja energia (Tirri ym. 2001).	Sisältää energiaa (Nicholls & Ogborn 1993).
<b>Ravinteet</b>	Kasvien tarvitsemat alkuaineet (Tirri ym. 2001).	-
<b>Ravintoketju / -verkko</b>	Eliöyhteisön hierarkkinen järjestelmä, jonka läpi aine ja energia kulkevat (Tirri ym. 2001).	-
<b>Eliö</b>	Organismi eli elävä yksilö (Tirri ym. 2001) lisääntyy ja kuolee (Hogan & Fisherkeller 1996)	Elävä yksilö hengittää, syö, juo ja liikkuu (Kalafunja & Samiroden 1990).
<b>Autotrofinen eliö</b>	Omavarainen eliö (Tirri ym. 2001)	-
<b>Heterotrofinen eliö</b>	Toisenvarainen eliö (Tirri ym. 2001)	-
<b>Tuottaja</b>	Orgaanisia yhdisteitä valmistava eliö (Tirri ym. 2001).	Kasvi, joka ottaa ravintonsa maasta (Adeniyi 1985, Stavy ym. 1987). Kasvi, joka tuottaa happea (Özay & Öztas 2003). Pieni saaliseläin (Adeniyi 1985).
<b>Kuluttaja</b>	Muita eliöitä ravintonaan käyttävä eliö (Tirri ym. 2001).	-
<b>Hajottaja</b>	Kuolleita eliöitä syövät tai hajottavat eliöt, jotka palauttavat toiminnallaan aineet luonnon kiertoon (Tirri ym. 2001).	-

## 4. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 4.1. Tutkimusaikataulu

Tutkimuksen aineisto kerättiin Jyväskylän Rudolf Steiner – koulussa biologian opetusjakson aikana keväällä 2007 (taulukko 2). Tutkimukseen osallistui koko yhdeksäs luokka (N=14). Ryhmässä oli viisi poikaa ja yhdeksän tyttöä ja oppilaat olivat iältään 14–15-vuotiaita. Opetusjakson alussa oppilaat vastasivat alkumittauksen väittämiin ja piirsivät alkutilanteen käsitekartat. Opetuksen edetessä oppilaat vastasivat kirjallisesti läksynkyselyn avoimiin kysymyksiin. Opetusjakson päättyessä oppilaat osallistuivat kurssikokeeseen, jossa he vastasivat avoimiin kysymyksiin, piirrostehtävään ja piirsivät lopputilanteen käsitekartat. Lisäksi kahdeksaa vanhemmiltaan luvan saanutta oppilasta haastateltiin myöhemmin opetusjakson jälkeen.

Opetusjaksolla pyrittiin luomaan oppimisympäristö, jossa oppilailla olisi hyvät mahdollisuudet konstruoida tietorakenteitaan ekosysteemistä. Opetusjaksolla käsitellyt aihepiirit valittiin perusopetuksen opetussuunnitelmien pohjalta ja työtavoiksi valittiin konstruktivismille tyypillisiä opetus- ja oppimismenetelmiä. Aihepiirit pyrittiin käsittelemään johdonmukaisesti niin, että ensin käsiteltiin ekosysteemin rakenteeseen kuuluvia osia ja tämän jälkeen niiden ominaisuuksia. Lopuksi ekosysteemin osat toimintoineen yhdistettiin kokonaisuudeksi.

Opetusjakson jälkeen oppilailla tulisi olla tieteelliset käsitykset ekosysteemin tuottajista energian ja aineen sijoista sekä käyttäjinä, kuluttajista toisenvaraisina ja hengittävinä eliöinä ja hajottajista ravintoketjujen ja –verkkojen tärkeinä eliöinä. Oppilaiden tulisi myös hallita aineiden kiertoja, esimerkiksi hiilen kiertoa ja energian kulkua Auringosta hajottajiin.

Taulukko 2. Opetusjakson aikataulu ja ohjelma.

pvm ja tunnin kesto	Oppitunnin teema
13.2. 2h	Alkumittaus väittämillä, käsitekartan laadinta ja maalaji-demo (liite 3)
14.2. 1h	Tuottajat, kuluttajat ja hajottajat
15.2. 2h	Kasvien kasvu ja yhteyttäminen, demot (liite 3)
16.2. 2h	Kasvien hengittäminen ja talvehtiminen
19.2. 2h	Metsäekosysteemin kuluttajat: esitelmien tekoa
20.2. 2h	Omavaraiset ja toisenvaraiset eliöt
21.2. 2h	Hajottajat ja aineiden kierto sekä energian kulku ekosysteemissä
22.2 1h	Eliöiden väliset suhteet
23.2 2h	Koe. Loppumittaus käsitekartalla ja kysymyksillä
<b>Yht. 16 oppituntia</b>	

### 4.2. Opetusjaksolla käytetyt työtavat

Opetusjaksolla käytettiin sekä opettaja- että oppilaskeskeisiä työtapoja. Oppituntien keskeisimmiksi menetelmiksi nousivat keskustelut ja kysymysten esittäminen. Opetusmenetelmien tavoite oli kehittää oppilaiden systeemiajattelua ja ohjata tietorakenteiden käsitteellistä muutosta.



Opettajakeskeisiä työtapoja käytettiin uuden asian esittelyyn. Aihepiiristä siirtyminen tehtiin ennakkojäsentäjän avulla. Ennakkojäsentäjänä käytettiin oppilaille jaettua kuvaa metsäekosysteemistä (liite 2). Kuvan avulla aktivoitiin oppilaiden ennakkokäsitykset ekosysteemiin kuuluvista asioista ja tarkennettiin käsitteiden merkityksiä mm. ekosysteemin elottoman ja elollisen luonnon (tuottajat, kuluttajat ja hajottajat) tekijöistä. Kuvasta tarkasteltiin myös eläinten ja kasvien talvehtimistapoja ja eliöiden välisiä vuorovaikutuksia.

Uusien asioiden kerrontaa havainnollistettiin piirroksilla ja kokeellisilla demonstraatioilla. Piirroukset kuvasivat mm. kasvien kasvuunsa tarvitsemia asioita ja hiilen kiertoa. Demonstraatioissa havainnoitiin maalajien vedenpidättävyyttä, kasvien fotosynteesiä ja herneiden hengitystä (ks. tutkimusasetelmat liitteestä 3). Demonstraatioiden yhteydessä oppilaat piirsivät tutkimusasetelmat vihkoihinsa, tekivät erilaisia hypoteeseja, havainnoivat muutoksia, esittivät tulokset diagrammeihin ja pohtivat tapahtunutta osana laajempaa yhteyttä.

Oppilaskeskeisinä menetelminä käytettiin mm. pienimuotoisia esitelmiä ja ongelma-lähtöistä ravintoketjuleikkiä. Esitelmien aiheina olivat metsän kuluttajat, joihin oppilaat tutustuivat kirjallisuuden avulla. Työskentelyn tuloksena syntyneet posterit esiteltiin pienryhmittäin koko luokalle. Pienryhmät muodostettiin eläinten ominaisuuksien mukaan. Näin esittelyvuoroon päätyivät vuoroin metsän selkärangattomat, linnut ja nisäkkäät. Ravintoketjuleikin ideana oli osoittaa hajottajien tärkeä rooli ravinteiden kieroissa. Jokaiselle oppilaalle jaettiin metsän eliön rooli (tuottaja tai kuluttaja) ja koko ryhmälle annettiin lankakeriä, joiden kerrottiin sisältävän eliön tarvitsemia aineita ja energiaa. Ravintoketjut syntyivät vuorovaikutuksessa ilman opettajan ohjausta, kunnes oppilaat jäivät pohtimaan, miten ravinteet saataisiin jälleen tuottajille. Kun kysyttiin ratkaisua ongelmaan, he kertoivat tarvitsevansa hajottajia. Leikin päätteeksi oppilaat piirsivät syntyneistä ravintoketjuista metsän ravintoverkkoja ja merkitsivät nuolilla aineiden ja energian kulun.

Opetusjakso arvioitiin oppilaan tuntiaktiivisuuden, vihkotyön ja kurssikokeen perusteella. Lopullinen biologian arvosana määräytyi koko kurssin suorituksista.

#### **4.2. Alkumittauksen väittämät**

Opetusjakson alussa oppilaat vastasivat seitsemääntoista ekosysteemiä käsittelevään oikein-väärin väittämään (liite 1). Väittämiin vastasi 13 oppilasta, joista yhden vastauspaperi hylättiin, koska vastukseen oli vastattu pilailleen. Väittämien ratkaisemiseen oppilailta kului aikaa keskimäärin 20 minuuttia.

Alkumittauksessa käytetyt väittämät oli laadittu kirjallisuuden pohjalta niin, että ne huomioivat systeemiajattelun eri osa-alueita (ks. Eisen & Stavy 1988, Özyay & Öztas 2003, Assaraf & Orion 2005). Esimerkiksi oppilaiden kykyä tunnistaa ekosysteemin osia ja toimintoa haluttiin testata väittämällä: ”Kasvit ovat ekosysteemin tuottajia, koska ne tuottavat happea”, jolla pyrittiin löytämään oppilaiden käsityksiä tuottajasta sekä ”Kasvit yhteyttävät vain päivisin”, jolla testattiin oppilaan kykyä tunnistaa käsite fotosynteesi. Väittämät oli testattu ennen tutkimuksen toteuttamista yhdellätoista lukion solubiologian kurssin opiskelijalla ja väittämiin oli tehty tämän jälkeen tarvittavat muutokset. Väittämät tuntuivat kuitenkin yhdeksäsluokkalaisista haastavilta (taulukko 3).

Taulukko 3. Alkumittauksen väittämien yhteys systeemiajatteluun ja väittämien mallivastaukset.

Systeemiajattelun osa-alue	Väittäjä	Vastaus
1a. Osien tunnistaminen	"Kasvit ovat ekosysteemin <b>tuottajia</b> , koska ne tuottavat happea"	Väärin. Kasvit sitovat yhteyttämisessä energiaa mm. sokeryhdisteisiin. Fotosynteesin sivutuotteena vapautuu happea. Kasvien biomassassa on kuluttajien käytettävissä.
	"Jos <b>Aurinko</b> sammuisi, häviäisi elämä maapallolta"	Oikein. Moni ekosysteemi on riippuvainen Auringon valoenergiasta.
1b. Toimintojen tunnistaminen	"Hiiltä on <b>ilmassa enemmän kuin maaperässä ja kasvillisuudessa</b> "	Väärin. Hiilen orgaanisia yhdisteitä on runsaasti eliöissä ja maaperän varastoissa.
	"Kasvit <b>yhteyttävät</b> vain päivisin"	Oikein. Fotosynteesin valo- ja pimeäreaktiot tapahtuvat päivisin.
2. Osien välisten yhteyksien tunnistaminen	"Kasvit ottavat maaperästä sokeria, jota ne käyttävät rakennusaineena ja energiana"	Väärin. Kasvit valmistavat sokeryhdisteet fotosynteesissä. Energia on peräisin Auringosta.
	"Ilman <b>kasveja</b> ei olisi <b>eläimiä</b> "	Oikein. Kuluttajat ovat toisenvaraisia.
	" <b>Kasvit</b> tarvitsevat <b>Auringon valoa</b> elääkseen ja kasvaakseen"	Oikein. Autotrofiset eliöt saavat energian joko Auringon valosta tai epäorgaanisista yhdisteistä. Huom. kasvit voivat tosin olla puollilaisia, jolloin ne eivät yhteytä.
3. Osien ja toimintojen välisten yhteyksien tunnistaminen	"Kasvit <b>tarvitsevat happea enemmän kuin hiilidioksidia</b> "	Väärin. Kasvien tarvitsemien hapen ja hiilidioksidin määrä on teoreettisesti yhtä suuret.
	"Ruoka <b>sisältää</b> eläimen <b>tarvitsemia rakennusaineita</b> "	Oikein. Ravinnosta eläin saa aineita ja energiaa.
	"Eliöiden <b>hengityksessä</b> vapautuva hiilidioksidi käytetään kasvien <b>yhteyttämiseen</b> "	Oikein. Kasvit sitovat ilman hiilidioksidia, joka on soluhengityksen lopputuote.
4. Yleistysten tekeminen	" <b>Kasveja ei olisi ilman eläimiä, jotka vapauttavat hiilidioksidia ilmaan</b> "	Väärin. Kasvien omavaraisuus aineiden ja energian suhteen perustuu yhteyttämiselle ja hengityksen käänteisiin reaktioihin.
	"Ekosysteemin tuottajien määrä on paljon suurempi kuin kuluttajien määrä"	Oikein. Tuottajien biomassassa ja sitoma energia on perusta ekosysteemin muille trofiatasoille.
5. Dynaamisten vuorovaikutusten tunnistaminen	"Kasvien määrä <b>vähenee, jos</b> kuluttajien määrä <b>ekosysteemissä kasvaa suureksi</b> "	Oikein. Kuluttajat hyödyntävät kasveja.
6. Kätkeytyneiden osien ja toimintojen tunnistaminen	"Kasvit tarvitsevat kasvuunsa vain vettä, ravinteita ja Auringon valoa"	Väärin. Kasvit ottavat ilmasta hiilidioksidia, joka on sokeri-molekyylin perusta.
	"Vain eläimet hengittävät ja vapauttavat ilmakehään hiilidioksidia"	Väärin. Kaikki aerobisesti elävät eliöt hengittävät eli vapauttavat energiaa käyttöönsä.
7. Takaisinkytkentöjen tunnistaminen	"Kasvien tarvitsemat ravinteet ovat peräisin kuolleista eliöistä"	Oikein. Hajottajat muuttavat toiminnallaan orgaaniset yhdisteet epäorgaanisiksi ravinteiksi.
8. Systeemin muuttuminen	"Hapen määrä ilmassa lisääntyy päivä päivältä, koska kasvit vapauttavat sitä jatkuvasti fotosynteesissä"	Väärin. Kasvit yhteyttävät vain valossa, pimeässä ne käyttävät happea energian vapauttamiseen sokereista. Myös kuluttajat käyttävät happea hengityksensä.

### 4.3. Kurssikokeen tehtävät

Kurssikokeessa oppilaat vastasivat muistinvaraisesti avoimiin kysymyksiin, jotka käsittelivät kasvien merkitystä ekosysteemissä, kuluttajien toisenvaraisuutta ja hajottajien toimintaa (liite 4). Lisäksi oppilailta kysyttiin energian kulusta ravintoketjussa. Oppilaita pyydettiin myös piirtämään kuvaan asioita, joita itäneestä herneestä kasvanut taimi oli tarvinnut (ks. Anderson ym. 1990, Valkonen 2002) ja kysyttiin, hengittävätkö kasvit (ks. Eisen & Stavy 1988). Idea kurssikokeen piirrostehtävästä syntyi, kun opetusjakson aikana eräs oppilas ehdotti itäneiden herneiden istuttamista ja kasvun seuraamista. Kurssikokeen toisena osana oli piirtää kurssin aikana käytetyn ekosysteemikuvan pohjalta käsittekartta.

### 4.4. Käsittekartat

Oppilaiden ekosysteemiajattelun kehittymistä seurattiin käsittekarttojen avulla. Oppilaat piirsivät sekä opetusjakson alussa että lopussa käsittekartat metsäekosysteemistä. Molemmilla kerroilla käsittekartan piirtämisen tukena käytettiin samaa ennakkojäsentäjää (liite 2).

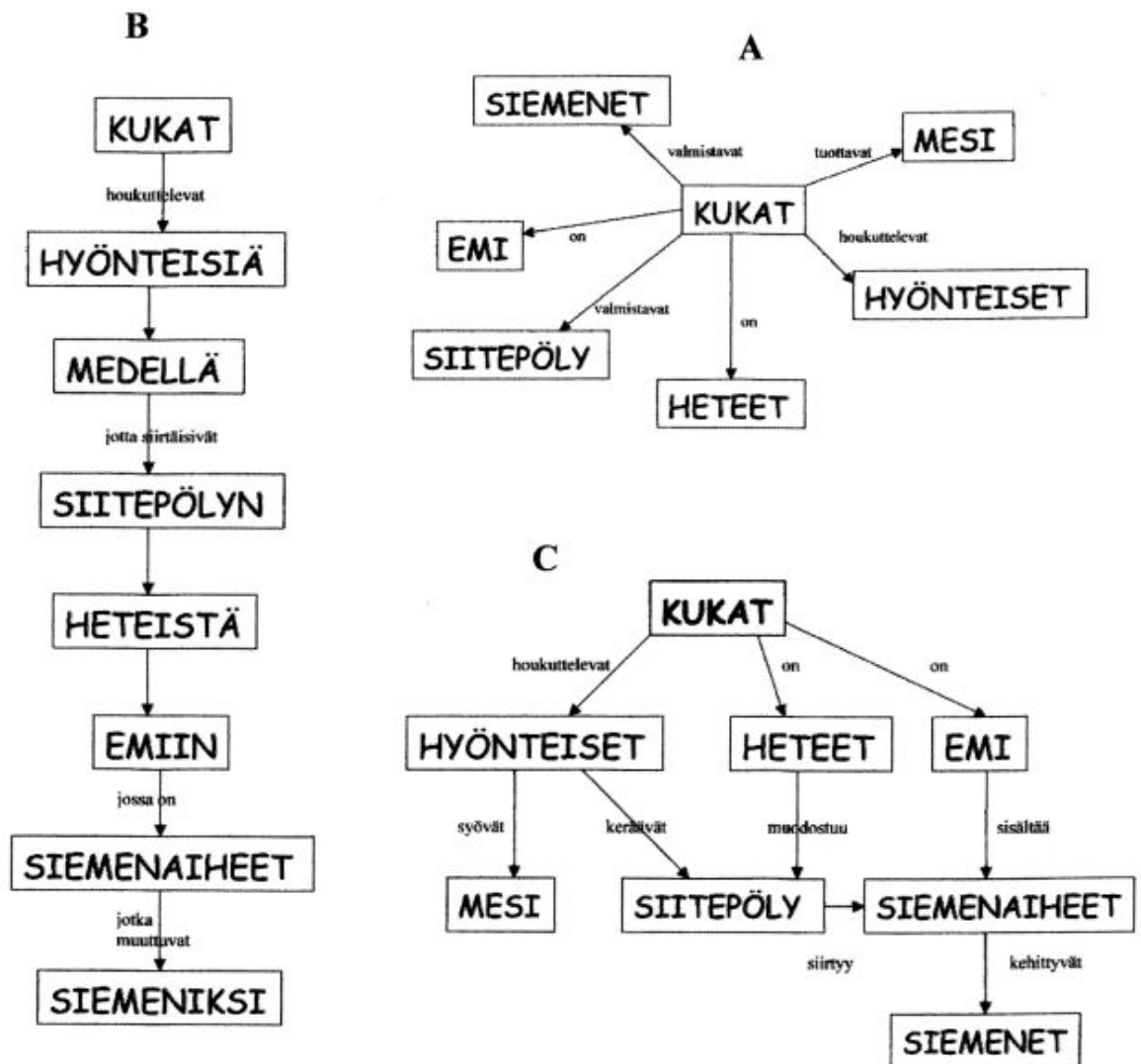
Ensimmäisen käsittekartan ohjeistuksena oli: ”Ekosysteemi on toimiva kokonaisuus. Tutki kuvaa suomalaisesta ekosysteemistä ja laadi käsittekartta ekosysteemistä. Millaisia asioita ekosysteemiin kuuluu ja millä tavalla ne ovat yhteydessä toisiinsa? Voit kirjoittaa avainsanoja nuolien päälle.” Näin tutkimukseen saatiin spontaanisti laadittuja käsittekarttoja, joihin sisältyivät oppilaiden päällimmäiset ajatukset metsäekosysteemistä. Ensimmäiset käsittekartat valmistuivat noin 30 minuutissa.

Jälkimmäisen käsittekartan ohjeistus oli hieman erilainen: ”Ekosysteemi on toimiva kokonaisuus. Piirrä paperille mahdollisimman tarkka ja monipuolinen käsittekartta ekosysteemistä. Yhdistä eliöitä nuolilla toisiinsa ja kirjoita nuolille avainsanoja. Huom. Älä tee pelkkää ravintoverkkoa, vaan huomioi kaikki ekosysteemiin kuuluvat asiat”. Nämä lopputilanteen käsittekartat valmistuivat osana kurssikoetta noin 20 minuutissa.

Analysointivaiheessa kartoissa esiintyneet sanat ja käsitteet laskettiin ja luokiteltiin. Myös sanoja yhdistävät linkkisanat laskettiin. Lisäksi käsittekarttojen tulkinnessa huomioitiin karttojen muoto ja mahdolliset yläkäsitteet, joita oppilas oli korostanut. Käsittekarttojen tarkastelussa käytettiin Åhlbergin (2001) ja Kinchin (2001) käsittekartoille laatimia kriteerejä.

Åhlbergin (2001) mukaan hyvässä käsittekartassa käsitteet ovat kehystettyjä ja ne esiintyvät vain kerran. Käsitteet myös yhdistetään nuolilla, jotka osoittavat lukusuunnan ja käsitteiden välisen yhteyden. Hyvän käsittekartan ei tarvitse olla hierarkkinen, koska usein on mielekkäämpää tarkastella käsitteiden välisiä yhteyksiä systeeminä. Käsittekartoissa voi olla tekstin lisäksi kuvia ja kuvioita, mutta hyvä käsittekartta ilmaisee vain olennaisen aiheesta. Käsitettä, johon oppilas on liittänyt useita linkkejä, voidaan pitää keskeisenä ja tärkeänä osana tekijänsä ajattelua. Myös yläkäsitteeksi sijoitettu käsite on kartan ja ajattelun kannalta merkityksellinen, koska se kattaa kaiken muun kartassa olevan (Åhlberg 1990, 1991, 1998, 2001).

Kinchin (2000a, b, c, d, 2001) jakaa käsittekartat kolmeen luokkaan niiden muodon mukaan (kuva 5). Puolamaiset käsittekartat vastaavat Åhlbergin (2001) mainitsemia miellekarttoja, joissa käsitteillä ei ole keskinäistä yhteyttä. Tällainen puolamainen käsittekartta antaa suppean ja jäsentymättömän kuvan ajattelusta. Käsitteketjut sisältävät jo useampia tasoja, mutta samanarvoisia käsitteitä ei ole vielä luokiteltu hierarkkisesti. Käsitteverkoissa käsitteet ovat jo löytäneet keskinäiset suhteet ja niistä muodostuvia väittämiä on useita.



Kuva 5. Puolamainen käsitekartta (A), käsiteketju (B) ja -verkko (C) (muokattu Kinchinin 2001 pohjalta).

#### 4.5. Haastattelut

Haastattelu on tehokas menetelmä, jolla saadaan suoraan tietoa tutkittavan ajattelusta. Haastattelutilanne antaa mahdollisuuden lähestyä ilmiön ymmärtämistä joustavasti ja haastatteliija voi haastattelun aikana tehdä tarkentavia kysymyksiä, johtaa keskustelua haluaansa suuntaan tai pyytää haastateltavaa täydentämään kuvaan puuttuvia asioita. Tällöin tutkijalle selviää haastateltavan kyky hahmottaa systeemin tai ilmiön näkymättömiä tekijöitä (Assaraf & Orion 2005). Esimerkiksi Abdullah & Scaife (1997) käyttivät haastatteluja löytääkseen 9-vuotiaiden voima-käsitteen ymmärryksestä merkityksettömiksi jääneitä alakäsitteitä.

Ekosysteemiajattelun osalta haastatteluilla täydennettiin muiden menetelmien antamaa kuvaa oppilaiden käsityksistä, mutta samalla pyrittiin myös löytämään oppilaiden ajatuksia ekosysteemin energiasta. Haastattelua ohjaavia kysymyksiä olivat: mistä ekosysteemi saa energiaa, mitä energia on ja mihin eliöt sitä tarvitsevat, miten eliöt saavat energiansa ja mitä lopulle energialle tapahtuu.

Kaikki kahdeksan vanhemmiltaan luvan saanutta oppilasta haastateltiin joko 3. tai 4. huhtikuuta 2007. Jokainen haastattelu suoritettiin rauhallisessa tilassa ja haastattelut kestivät 10–15 minuuttia. Haastattelut olivat puolistrukturoituja ja haastattelutilanteessa oppilas täydensi kuvaa ekosysteemistä. Piirtämilleen asioille oppilas kertoi lyhyet perustelut. Haastattelun aikana tutkija teki aiheeseen liittyen tarkentavia ja täydentäviä kysymyksiä. Haastattelut tallennettiin C-kaseteille, joille teknisistä syistä tallentui kahdeksasta haastattelusta seitsemän. Oppilaiden haastattelujen aikana piirtämistä kuvista oli analysointivaiheessa käytettävissä kaikki kahdeksan.

#### 4.6. Systeemiajattelun tasot

Tutkimus tuotti runsaasti tietoa oppilaiden ekosysteemiajattelusta. Tulosten käsittelyssä hyödynnettiin oppilailla olevaa ennakkokäsitystä ekosysteemin tuottajista, lähinnä kasveista. Alkumittauksen välttämällä, käsittekartoilla, avoimilla kysymyksillä, piirroksilla ja haastatteluilla saadut vastaukset pisteytettiin niistä löytyvien tuottajien ja elottoman luonnon, tuottajien ja kuluttajien ja tuottajien ja hajottajien välisten yhteyksien avulla nollasta kolmeen (taulukko 4). Samasta tarkasteltavasta asiasta saatiin eri menetelmillä hieman erityyppisiä vastauksia, jolloin oppilaan aihepiiristä saama piste oli vastauksia parhaiten kuvaava. Pisteytyksessä huomioitiin voimakkaat virhekäsitykset ja oppilaan ristiriitaiset vastaukset.

Taulukko 4. Vastauksien pisteytyksessä huomioidut ekosysteemin tuottajien yhteydet elottomaan luontoon, kuluttajiin ja hajottajiin.

	<b>Tuottajat – eloton luonto</b>	<b>Tuottajat – kuluttajat</b>	<b>Tuottajat – hajottajat</b>
<b>0 p.</b>	Kasvit eivät ole yhteydessä elottomaan luontoon.	Tuottajilla ja kuluttajilla ei ole yhteyttä.	Tuottajilla ja hajottajilla ei ole yhteyttä.
<b>1 p.</b>	Kasvit tarvitsevat ennen kaikkea Aurinkoa.	Kuluttajat ovat riippuvaisia tuottajien tuottamasta hapesta.	Hajottajat hajottavat/siivoavat kuolleet tuottajat.
<b>2 p.</b>	Kasvit tarvitsevat Aurin- gon lisäksi maaperästä vettä ja ravinteita.	Kuluttajat käyttävät kasveja ravintonaan ja hengittävät happea.	Voimakas virhekäsitys: hajottajat antavat tuottajille energiaa.
<b>3 p.</b>	Kasvit tarvitsevat myös hiilidioksidia ja oppilas ymmärtää fotosynteesin.	Energia ja aineet siirtyvät tuottajilta kuluttajille ravinnon mukana ja oppilas ymmärtää kuluttajien toisenvaraisuuden.	Hajottajat vapauttavat ravinteet tuottajille ja oppilas ymmärtää aineiden kierrot.

Oppilaan saamat pisteet laskettiin yhteen ja saatujen pistesummien avulla muodostettiin seuraavat systeemiajattelun tasot (taulukko 5). Oppilaille annettiin myös satunnaisesti numerot, joista heidän vastauksensa tunnistaa. Numerot merkittiin kurstiivilla kirjoitettujen suorien lainauksien perään.

Taulukko 5. Oppilaiden vastauksista muodostetut systeemiajattelun tasot.

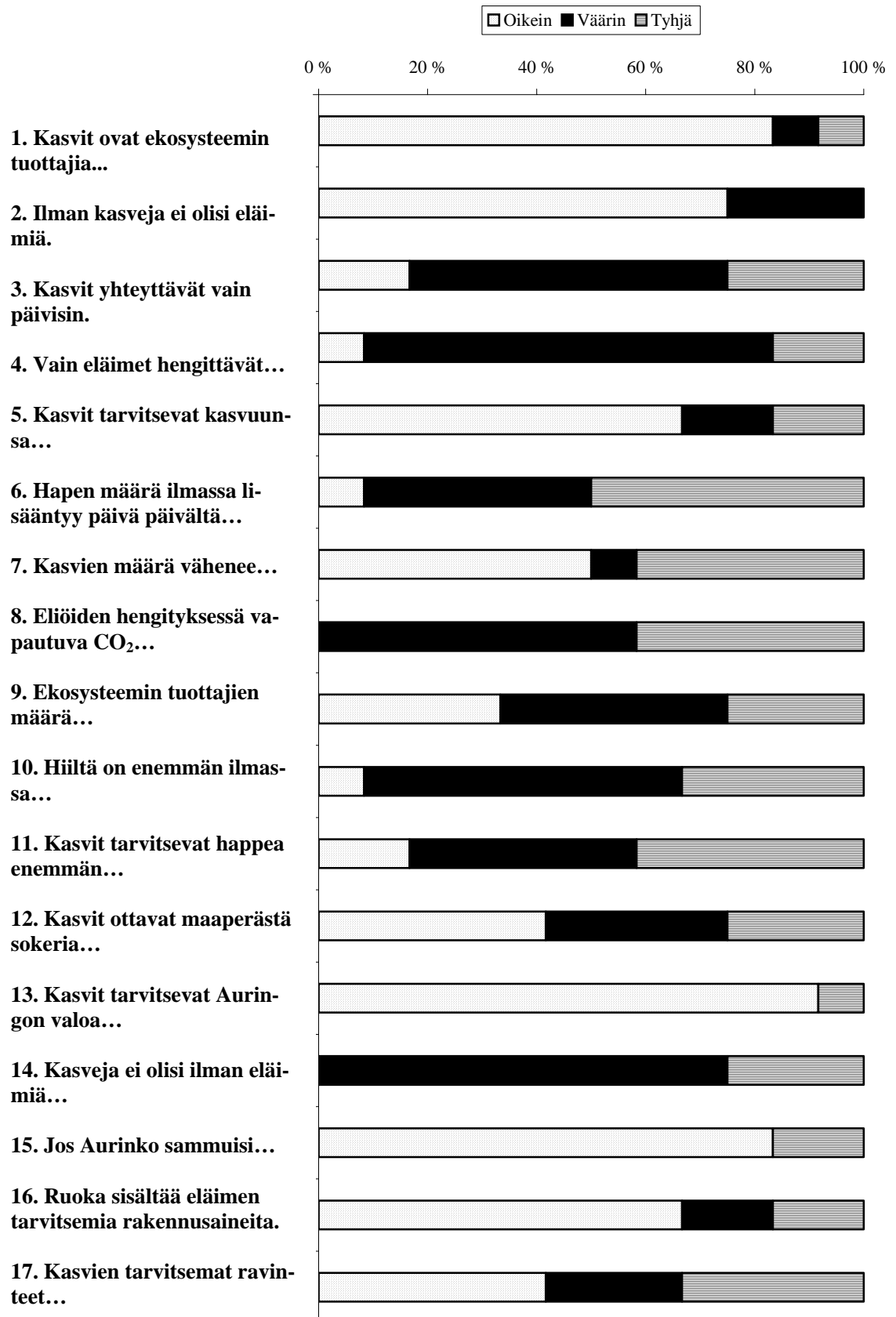
Taso	Tason kuvaus
0	<b>Ei systeemiajattelua</b> eikä kokonaiskuvaa ekosysteemistä.
1	Kasvit ja eläimet tarvitsevat <b>Aurinkoa</b> .
2	Kasvit ja eläimet tarvitsevat <b>Auringon valoa ja lämpöä</b> . Eläimet tarvitsevat lisäksi <b>happea</b> ja kasvit <b>vettä ja ravinteita</b> .
3	Kasvit ja eläimet tarvitsevat Auringon valoa ja lämpöä. Eläimet tarvitsevat lisäksi happea ja kasvit vettä ja ravinteita. <b>Eläimet syövät kasveja</b> .
4	Kasvit ja eläimet tarvitsevat Auringon valoa ja lämpöä. Eläimet tarvitsevat lisäksi happea ja kasvit vettä ja ravinteita. Eläimet syövät kasveja. <b>Hajottajat tekevät multaa</b> .
5	Kasvit ja eläimet tarvitsevat Auringon valoa ja lämpöä. Kasvit tarvitsevat lisäksi vettä ja ravinteita. <b>Eläimet hengittävät</b> kasvien vapauttamaa happea ja syövät kasveja ravinnokseen. Hajottajat tekevät multaa.
6	Kasvit tarvitsevat kasvuunsa <b>useita elottoman luonnon asioita</b> . Eläimet hengittävät kasvien vapauttamaa happea ja syövät kasveja ravinnokseen. <b>Hajottajat vapauttavat energian takaisin kasveille</b> .
7	Kasvit tarvitsevat kasvuunsa useita elottoman luonnon asioita. Eläimet hengittävät kasvien vapauttamaa happea ja syövät kasveja ravinnokseen. <b>Hajottajat vapauttavat ravinteet takaisin kasveille</b> .
8	Kasvit tarvitsevat useita elottoman luonnon asioita ja ne ovat <b>omavaraisia</b> . Eläimet ovat <b>toisenvaraisia</b> kuluttajia. <b>Hajottajien toiminnasta oppilaalla on ristiriitaisia käsityksiä</b> .
9	Kasvit ovat omavaraisia, koska ne <b>sitovat yhteyttämisessä energiaa ja aineita</b> . Kuluttajat ovat toisenvaraisia ja tarvitsevat kasveja. Hajottajat ovat maaperän eliöitä, jotka <b>vapauttavat ravinteet takaisin maaperään ja energian avaruuteen</b> .

## 5. TULOKSET

### 5.1. Oppilaiden ymmärrys ekosysteemistä opetusjakson alussa

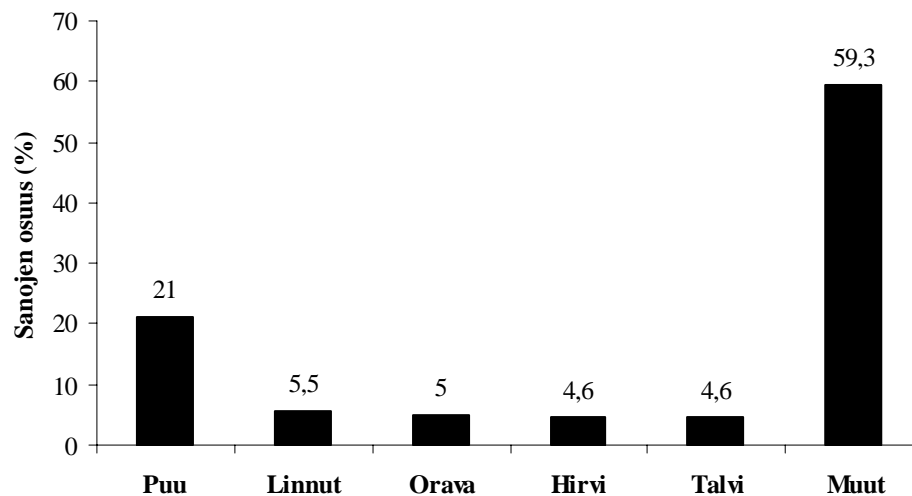
#### 5.1.1. Alkumittauksen väittämät ja käsittekartat

Ekosysteemiä käsittelevien väittämien vastauksista (N=12) laskettiin oppilaiden oikeiksi ja vääriksi merkityt väittämät. Tyhjiksi jätetyille ja perusteluiltaan ”en osaa sanoa” tyyppisille vastauksille muodostettiin luokka tyhjä (kuva 6). Oppilaiden kirjoittamat perustelut vastauksiin huomioitiin systeemiajattelun tasojen laadinnassa.

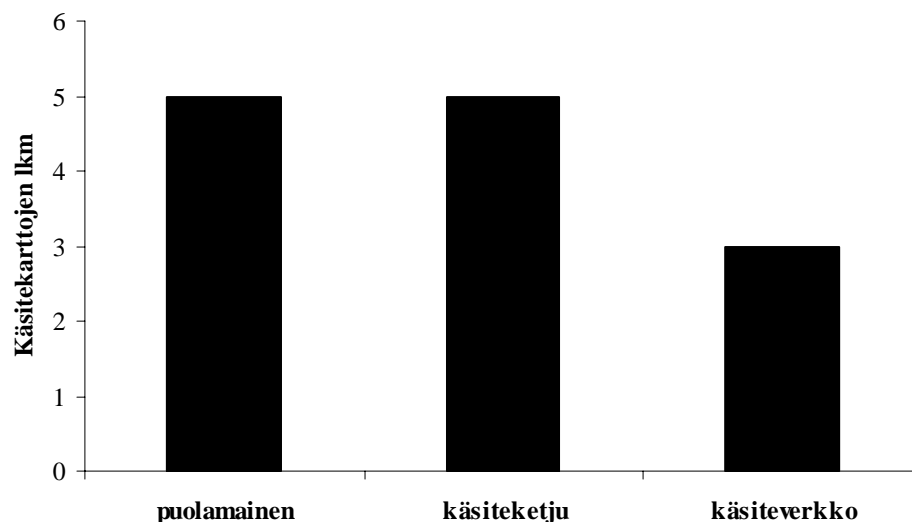


Kuva 6. Alkumittauksen väittämien vastaukset (N=12).

Alkumittauksen toisena osana oppilaat (N=13) laativat käsitekartat ekosysteemiku-  
van pohjalta (liite 2). Käsitekartat valmistuivat noin 30 minuutissa. Oppilaiden piirtämistä  
käsitekartoista laskettiin niissä esiintyneet käsitteet ja sanat sekä etsittiin käsitteiden välisiä  
yhteyksiä linkkisanoineen. Käsitekartoissaan oppilaat käyttivät 68:aa erilaista sanaa tai  
käsitettä. Kaikkiaan 13 käsitekartassa oli yhteensä 219 sanaa, kuitenkin niin, että yksittäis-  
issä kartoissa sanojen määrä vaihteli yhdeksästä 27:ään. Yleisemmin (21 %) käytettiin  
puuhun viittaavia sanoja, kuten mänty, kuusi, paju, kuori, oksat, juuret, neulaset ja lehdet  
(kuva 7). Lähes kaikki oppilaat (12/13) käyttivät puuhun liittyviä sanoja usean kerran käsi-  
tekartassaan (kahdesta kuuteen kertaan). Laadullinen käsitekarttojen muodon tarkastelu  
osoitti, että alkutilanteen käsitekartat olivat puolamaisia tai käsitteet muodostivat lyhyeh-  
köjä ketjuja. Verkkomaisia ja hierarkkisia käsitekarttoja ei ollut yhtäkään (kuva 8).



Kuva 7. Alkumittauksen käsitekartoissa yleisemmin esiintyneiden sanojen osuus kaikista käytetyistä 219 sanasta (N=13). Luokassa puu on huomioitu kaikki puuhun liittyvät sanat, luokka linnut sisältää pikkulinnut ja muuttolinnut ja luokkaan talvi on yhdistetty sanat talviturkki, talviuni, talvihorros, talvimuutto ja talviasu.

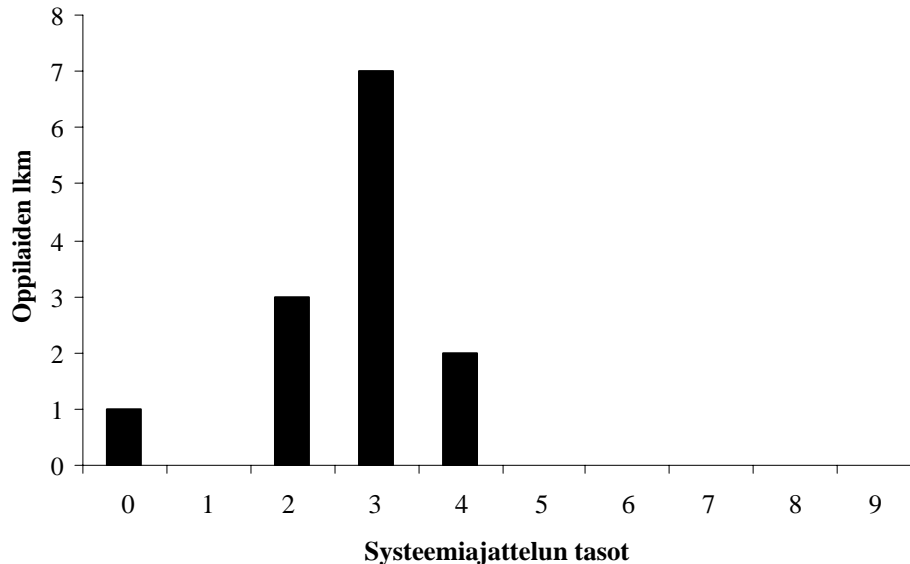


Kuva 8. Käsitekarttojen muoto opetusjakson alussa (N=13).



### 5.2.2. Oppilaiden systeemiajattelun tasot

Alkumittauksen väittämien vastaukset ja oppilaiden piirtämät käsitekartat kuvasivat oppilaiden systeemiajattelun tasoja ennen opetusjaksoa. Lähes kaikilla oppilailla oli käsitys Auringon merkityksestä ekosysteemin elämälle ja kasvien merkityksestä eläinten hyvinvoinnille (kuva 9). Yhdellä oppilaista (4) ei ollut lainkaan kokonaiskuvaa ekosysteemistä.



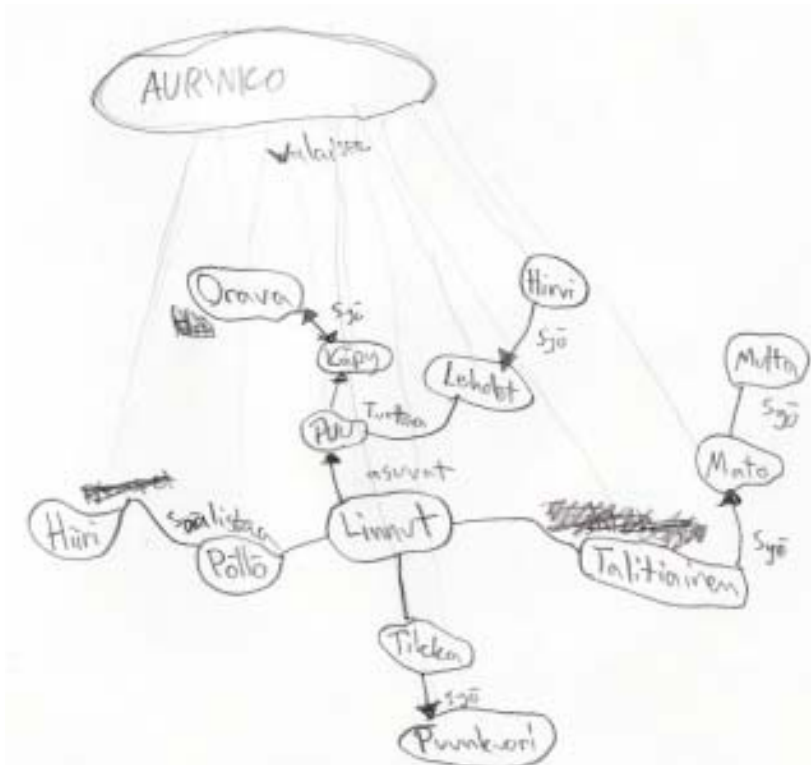
Kuva 9. Oppilaiden (N=13) systeemiajattelun tasot ennen opetusjaksoa. Tasojen kuvaus on esitetty taulukossa 5.

### 5.2.2. Aurinko ylläpitää ekosysteemin elämää

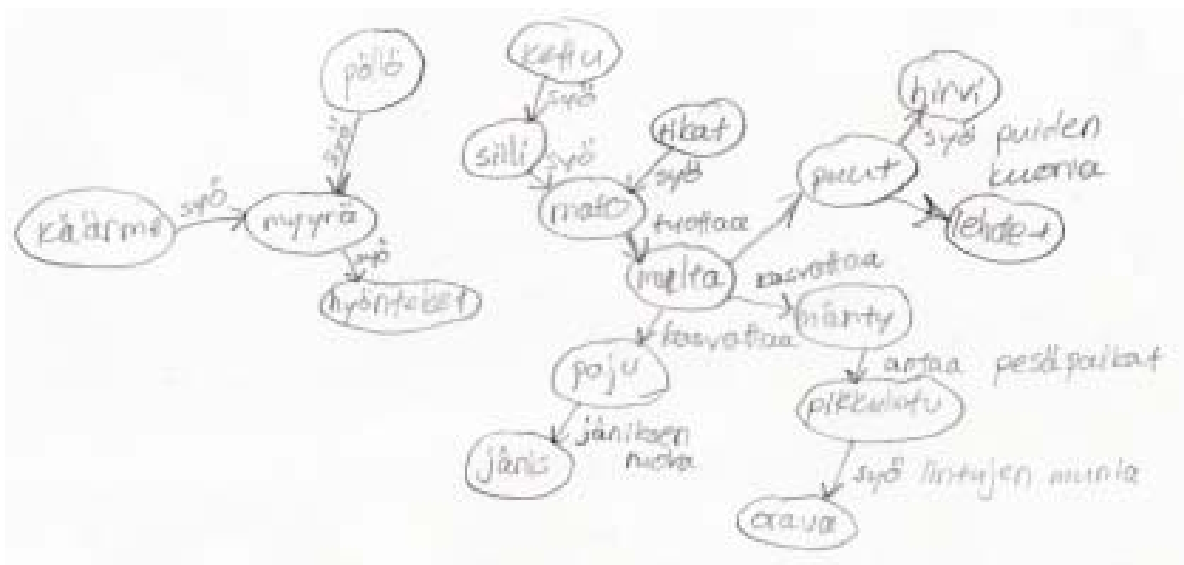
Sekä alkumittauksen väittämien että käsitekarttojen perusteella oppilaat olivat vakuuttuneita siitä, että Aurinko on tärkeä maapallon elämälle etenkin kasveille. Ilman Aurinkoa *täällä olisi niin kylmä, että mikään ei voisi elää* (9) tai *kaikki paleltuisi kuoliaaksi* (11), kun *maapallo jäätyisi* (13). Lisäksi ilman Aurinkoa olisi *pimeetä* (10) (kuva 10). Kasvit eivät myöskään eläisi ja kasvaisi ilman auringonvaloa, koska Auringosta ne saavat *sitä viherjuttua* (2).

Kasvit ymmärrettiin ekosysteemin tuottajiksi, *koska ne tuottavat happea* (12). Oppilaiden mielestä *kasvit ovat maailman keuhkot, jotka toimivat väärinpäin* (3) ja *kasvit kuuluvat ekosysteemiin, koska ne ovat elintärkeitä muille lajeille* (2). Väittämällä selvisi, että oppilaiden mielestä ekosysteemi tarvitsee kasveja (tuottajia) juuri siksi, että ne valmistavat auringonvalon, maaperän veden ja ravinteiden (67 %) avulla happea (83 %) eläinten hengittäväksi.

Kasvuunsa kasvit tarvitsivat Auringon lisäksi vettä ja ravinteita. Toisaalta väittämää ”Kasvit tarvitsevat kasvuunsa vain vettä, ravinteita ja Auringon valoa” epäiltiin: *ei kai ne muuta tarvi* (10) tai *kai ne jotain muutakin tarvitsee?* (12). Oppilailla oli vahva käsitys mullan ja maan merkityksestä kasvien kasvulle, koska *kasvit kasvavat hyvin ravinteikkaalla maalla, jos saavat tarpeeksi myös vettä ja auringon valoa* (02) (kuva 11). Kolmanneksi erään oppilaan mielestä kasvit tarvitsivat elääkseen myös hyönteisiä ja rakkautta.



Kuva 10. Oppilaan (10) käsittekartassa Auringolla on keskeinen asema kasvien ja eläinten yläpuolella. Puolamainen käsittekartta rakentuu käsitteen linnut ympärille.



Kuva 11. Oppilaan (13) kuluttajapainotteisessa käsittekartassa mato tuottaa multaa, joka kasvattaa puut. Multa on myös käsite, jonka ympärille oppilas on piirtänyt puolamaisen käsittekarttansa.

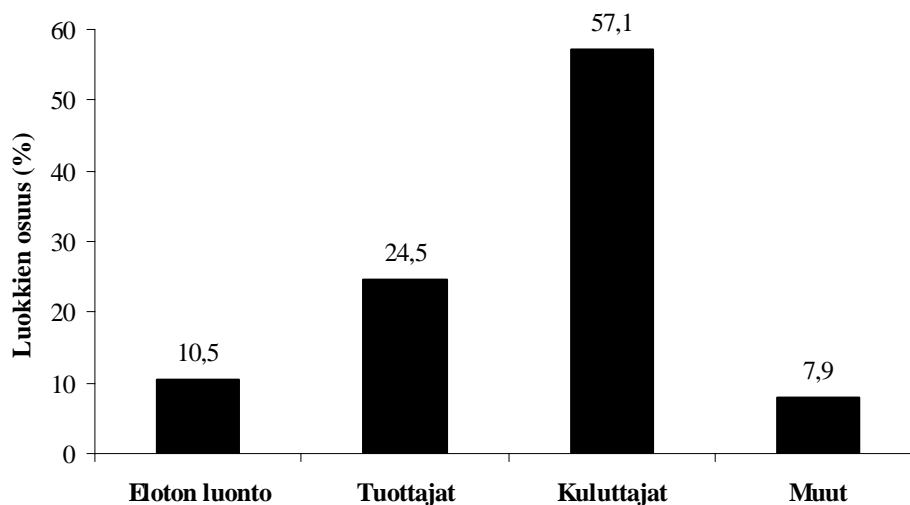
Kasvit tuottivat happea, mutta olivat myös eläinten ravintoa. Ravinto sisälsi *kuitua*, *proteiinia*, *sokeria* yms. (02) ja *energiaa* ja *niitä tärkeitä rakennusaineita* (11). Tuottajien ja kuluttajien välinen yhteys näkyi yhdentoista oppilaan käsittekartoissa lyhyinä ravintoketjuina. Käsittekartoissa (2/13), joista tuottajat puuttuivat kokonaan, ravintoketjut olivat eläinten välisiä syömisketjuja (kuva 12). Linkkisanaa ”syö” käytettiin lähes kaikissa (10/13) käsittekartoissa ja sitä käytettiin yhteensä kaikkiaan 68 kertaa.



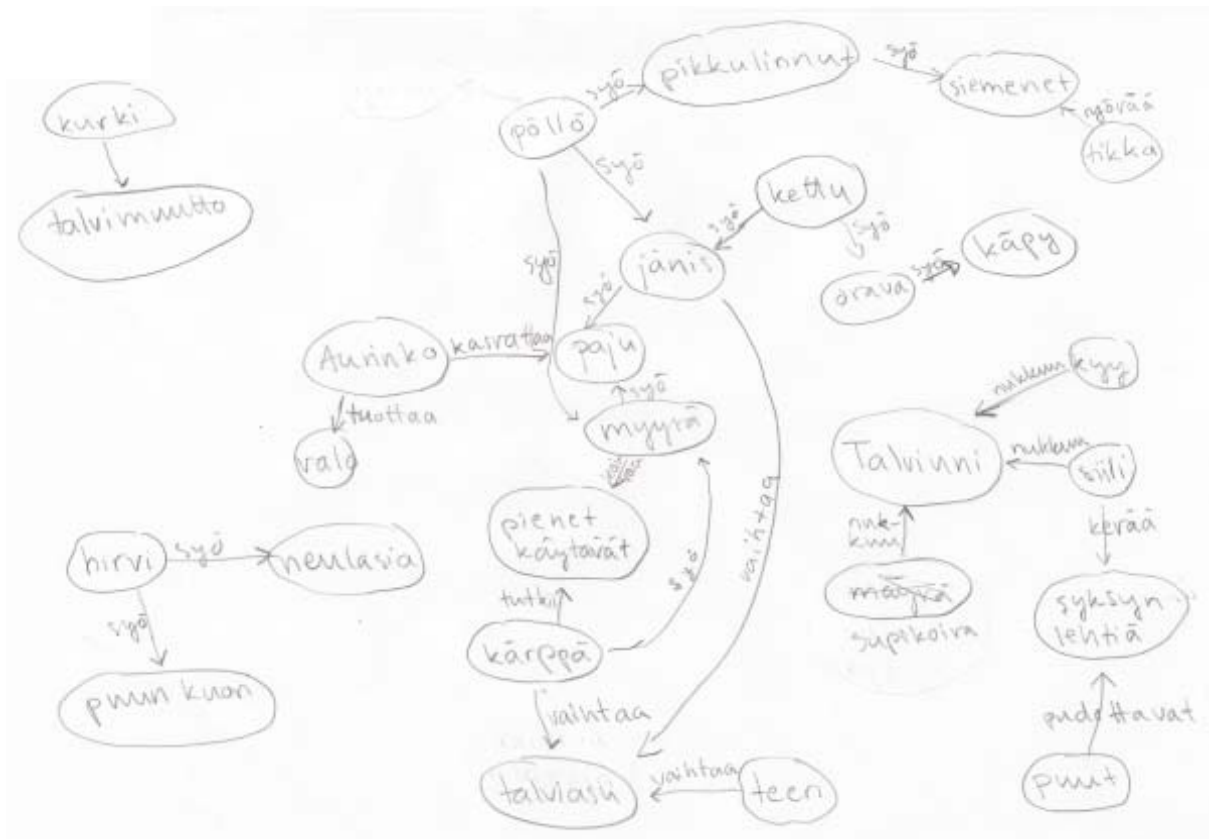
Kuva 12. Oppilaan (4) käsitekartassa kuluttajat muodostavat lyhyitä syömisketjuja. Käsitekartasta puuttuvat ekosysteemin tuottajat ja hajottajat. Käsitekartta on muodostunut irrallisista käsitteistä.

Pääosin kasvit ajateltiin välttämättömiksi eläinten hyvinvoinnille. Toisaalta kolmen oppilaan mielestä eläimiä voisi olla ilman kasvejakin, mutta he eivät perustelleet vastauksiaan. Yhdeksän oppilaan mukaan kasvit voivat elää ilman eläimiä, koska kasvien tarvitsemää hiilidioksidia vapautuu myös vedestä? (9). Ilman eläimiä kasvit olisivat kehittyneet tosin erilaisiksi: *ei välttämättä olisi samanlaisia kasveja kuin nyt, mutta jonkinlaisia* (2).

Puolella oppilaista oli käsitys kasvien ja eläinten välisistä dynaamisista vuorovaikutuksista. He ymmärsivät kasvien määrän vähenevän, jos kuluttajien määrä ekosysteemissä kasvaa suureksi. Pienempi osa (4/12) oppilaista piti tuottajien määrää suurempana kuin kuluttajien määrää perustellen: *joo kasveja on varmasti enemmän kuin ihmisiä ja eläimiä* (3). Kuluttajakeskainen ajattelu näkyi selkeästi myös käsitekartoissa, joissa kuluttajien määrä oli huomattavasti suurempi kuin tuottajien määrä (kuvat 13 ja 14).



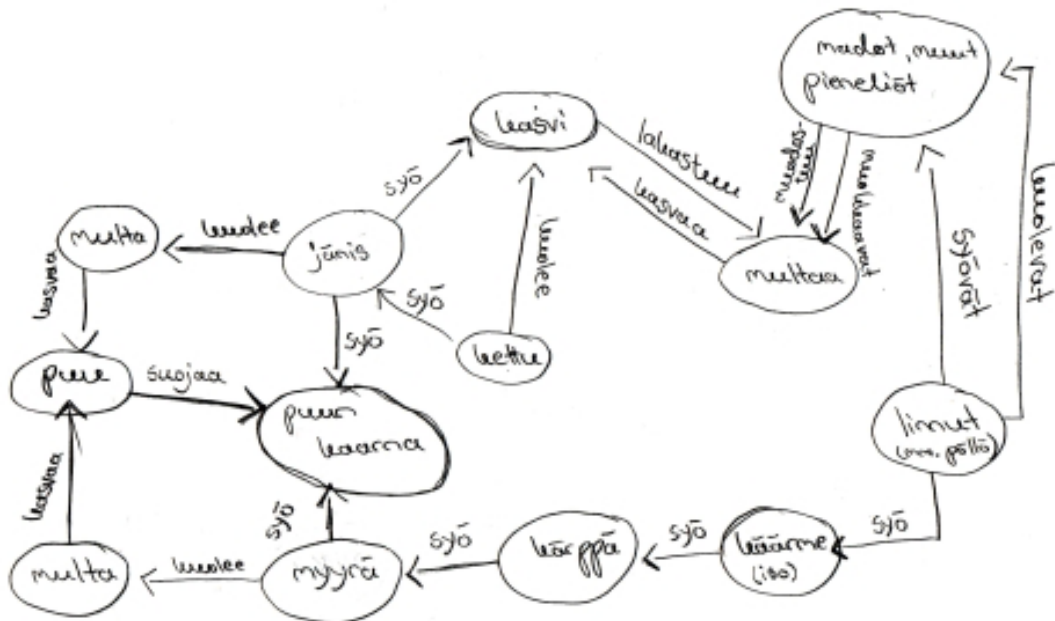
Kuva 13. Alkumittauksen käsitekartoissa (N=13) esiintyneet sanat luokiteltuina ekosysteemin osiin.



Kuva 14. Oppilaan (3) kuluttajakeskeisestä käsittekartasta löytyy Auringosta alkava ravintoketju. Käsitteverkko ei ole hierarkkinen.

### 5.2.2. Hajottajat tekevät multaa

Oppilaat eivät käyttäneet vastauksissaan käsitettä hajottajat, vaan neljässä käsittekartassa hajottajiin viitattiin mullassa tai maassa elävillä toukilla ja madoilla ja väittämään ”Kasvien tarvitsemat ravinteet ovat peräisin kuolleista eliöistä” oikein vastasi viisi, joista yksi perusteli vastauksensa seuraavasti: *multa on maatuneita eliöitä* (13). Käsittekartoissa tosin vain yksi oppilaista yhdisti hajottajat tuottajiin (kuva 15). Hajottajien puuttuminen osoitti, ettei oppilailla ollut ennen opetusjaksoa mielikuvaa ekosysteemin hajottajien yhteydestä aineiden kiertoihin.



Kuva 15. Oppilaan (12) käsittekartassa hajottajat ovat matoja ja pieneliöitä, jotka muodostavat multaa. Multaa muodostuu myös kasveista, jotka lakastuvat. Käsittekartta kuvataan käsitteketjuna.

### 5.2.3. Fotosynteesistä ja soluhengityksestä ei ymmärrystä

Kasvien toimintaan liittyvät käsitteet fotosynteesi (yhteyttäminen) ja soluhengitys osoittautuivat oppilaille vieraisiksi. Käsittekartoissa ei ollut mainittu näitä ekosysteemin toimintaa kuvaavia käsitteitä ja aihetta käsitteleviin väittämiin oppilaat jättivät vastaamatta tai perustelematta muita väittämiä useammin. Yhteyttämistä ei joko muistettu tai se ajateltiin vain joidenkin kasvien ominaisuudeksi. Yli puolet oppilaista (7/12) oli sitä mieltä, että kasvit pystyvät yhteyttämään myös öisin, koska *jotkut kasvit ovat ”yöeläjiä” ja yhteyttävät öisin* (2). Toisaalta kahdella oppilaalla oli oikea käsitys auringonvalon ja fotosynteesin yhteydestä: *kasvit tarvitsevat [yhteyttämiseen] auringonvaloa* (1).

Hiilidioksidin ja fotosynteesin välinen yhteys osoittautui edellistä vaikeammaksi. Oppilaat ajattelivat hiilidioksidin hapen, eivätkä sokerin, raaka-aineeksi. Tästä virheellisestä ajatuksesta seurasi, että lähes puolella (5/12) oppilaista väittämä ”Kasvit ottavat maaperästä sokeria, jota ne käyttävät rakennusaineena ja energiana” oli merkitty oikeaksi. Sokerin raaka-aineeksi eräs oppilas (2) ehdotti maaperän ravinteita, mikä Cañalin (1999) mukaan voi johtua oppilaiden tarpeesta löytää kasvien ottamille ravinteille merkitys; mihin niitä tarvitaan, kun fotosynteesin lähtöaineita ovat vain vesi ja hiilidioksidi. Neljän (4/12) mielestä väittäjä oli kuitenkin virheellinen, koska *kasvithan tuottaa sokeria?* (10) ja *tekevät itse sokeria* (3).

Kasvien tiedettiin hengittävän, mutta hengitys ajateltiin päin vastaiseksi eläinten hengitykselle, koska *kasvit hengittävät hiilidioksidia* (3) tai *”hengittävät” ja käyttävät hiilidioksidia* (2). Jälkimmäinen vastaus osoittaa, ettei oppilailla ollut oikeanlaista käsitystä soluhengityksestä. Hengittäminen ajateltiin enemmänkin kaasujen vaihdoksi eikä energiaa vapauttavaksi tapahtumaksi. Huomioitavaa oli myös, ettei eliöiden hengityksessä vapautnutta hiilidioksidia osattu yhdistää yhteyttämiseen.

### 5.2.4. Hiilen ja hapen kierrosta puutteellisia käsityksiä

Hiilidioksidin ja hapen välisistä yhteyksistä oppilaat eivät juuri osanneet kertoa. Eräs oppilas pohti: *jaa-a... mutta ihmiset ja eläimet hengittävät happea, jota kasvit tuottavat* (3).

Oppilaille oli muodostunut ymmärrys hapen muuttumisesta hiilidioksidiksi eläinten ja ihmisten hengittäessä ja hiilidioksidin muuttumisesta hapeksi kasveissa: *ihmiset ja eläimet hengittävät happea ja muuttavat sen hiilidioksidiksi* (13) ja *ihmiset ja eläimet tuottavat enemmän hiilidioksidia, kuin kasvit pystyvät muuntamaan hapeksi* (11). Hapen merkitystä kasveille ei tiedetty, vaan oppilaat pitivät hiilidioksidia happea tärkeämpänä. Hiilen ja hapen kiertoon liittyen oppilaita pyydettiin myös vastaamaan väittämään ”Hiiltä on ilmassa enemmän kuin maaperässä ja kasvillisuudessa”, joka oli seitsemän (7/12) mielestä väärin, mutta *[hiilen] määrä kasvaa koko ajan* (2).

#### 5.2.5. Yhteenveto oppilaiden systeemiajattelusta opetusjakson alussa

Opetusjakson alussa oppilailla oli valmis käsitys ekosysteemin tuottajista ja kuluttajista, vaikkakin niiden toimintaan liittyi virhekäsityksiä. Hajottajien merkitys ekosysteemissä jäi vähäisemmäksi, vaikka osa oppilaista tiesikin kasvien ravinteiden olevan peräisin maasta, jossa on hajottajia. Tiedolliselta lähtötasoltaan oppilaat olivat melko samalla tasolla, kun taas opetusjakson kuluessa havaittiin oppilaiden erot metakognitiivisissa taidoissa, mistä seurasi eritasoisten ekosysteemikäsitysten muodostuminen opetusjakson jälkeen.

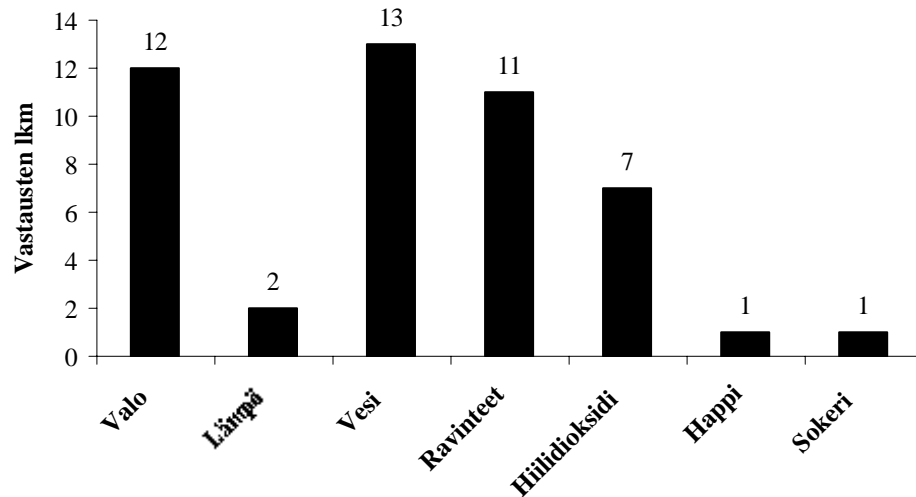
## 5.2. Oppilaiden ymmärrys ekosysteemistä opetusjakson jälkeen

### 5.2.1. Avoimet kysymykset, piirrostehtävä, käsitekartat ja haastattelut

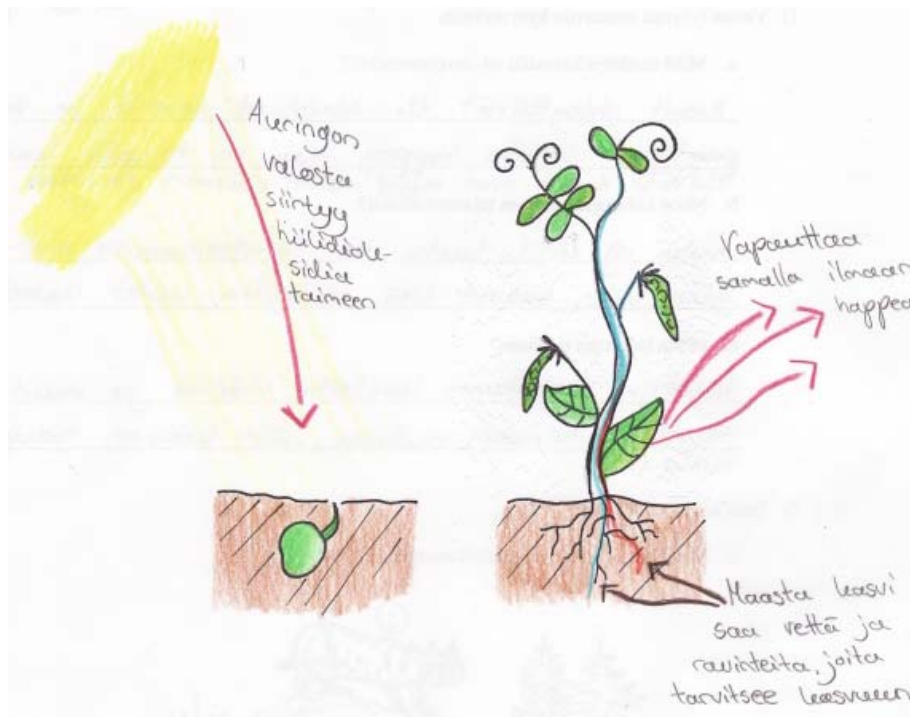
Opetusjakson aikana oppilaat (N=14) vastasivat kirjalliseen läksynkyselyyn ja opetusjakson päättyessä kurssikokeen avoimiin kysymyksiin ja piirrostehtävään kasvien kasvusta. Lisäksi oppilaat piirsivät käsitekartan toistamiseen ekosysteemikuvan pohjalta. Kahdeksaa oppilasta myös haastateltiin muutama viikko opetusjakson jälkeen.

Avoimien kysymysten vastauksista muodostettiin merkityskategoriat kuvaamaan oppilaille olleita käsityksiä. Opetusjaksolla suurimmalla osalla oppilaista oli käsitys Aurin-gosta saatavasta energiasta (taulukko 6). Aineiden kiertoja oppilaat puolestaan selittivät luonnon tasapainon tai ravintoketjujen avulla (taulukko 7). Opetusjakson päättyessä kasvien tehtäviksi ajateltiin hapen ja sokerin tuottaminen, tosin sokerin valmistamisesta yhteyttämisessä ei kerrottu (taulukko 8). Kuluttajien toisenvaraisuudessa korostui riippuvuus muihin ekosysteemin eliöihin, esimerkiksi kasveihin, joista energia siirtyi eläimiin (taulukko 9). Hajottajien keskeisimmäksi tehtäväksi nähtiin kuolleiden eliöiden hävittäminen (taulukko 10). Energian virtausta (taulukko 11) oppilaat kuvasivat aineiden kiertojen tapaan ravintoketjuilla, joissa eliöt käyttivät energiaa vuorotellen, tosin ravintoketjujen hajottajien tehtävään liitettiin edelleen virheellisiä käsityksiä. Kasvien hengitystä käsitellyt kysymys (taulukko 12) jakoi eniten oppilaiden vastauksia, koska osa kuvasi hengitystä kaasujen vaihtona ja osa soluissa tapahtuvaksi toiminnaksi.

Kurssikokeen piirrostehtävä käsitteli kasvin kasvuunsa tarvitsemia asioita. Tehtävässä oppilaan oli lisättävä kuvaan herneen kasvuunsa tarvitsemia asioita (liite 3). Piirrostehtävän kuvaan oppilaat (12/14) olivat lähes poikkeuksetta piirtäneet Auringon, josta kasvi sai valoa (85,7 %) ja lämpöä (14,3 %). Lisäksi kasvi oli ottanut juurillaan vettä ja ravinteita. Hiilidioksidi mainittiin nyt seitsemässä piirroksessa (kuva 16) ja neljä oppilasta mainitsi tehtävän yhteydessä käsitteen yhteyttäminen. Soluhengitystä ei tosin maininnut kukaan, mutta eräs oppilas kirjoitti kasvin tarvitsevan sokeria, kun taas toinen oppilas mainitsi hapen. Yhdessä piirroksessa hiilidioksidi ajateltiin kuitenkin virheellisesti olevan peräisin auringon valosta (kuva 17).



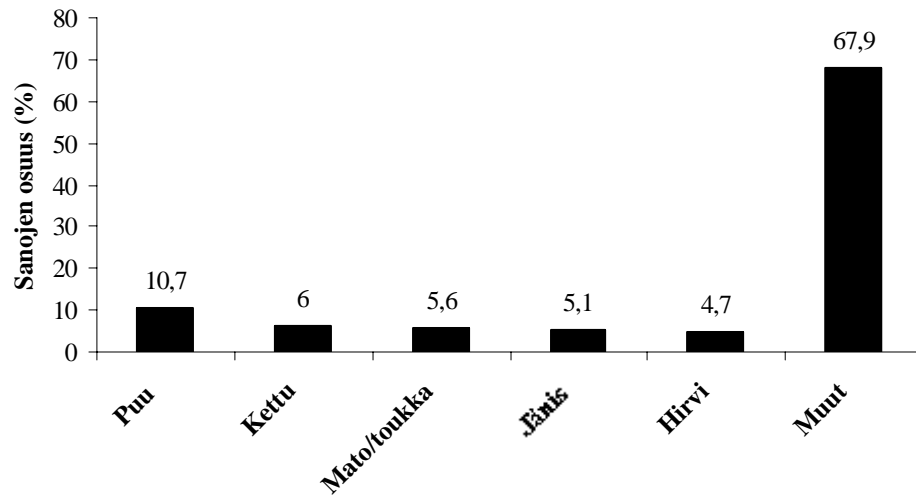
Kuva 16. Piirrostehtävässä esiintyneet kasvien kasvuunsa tarvitsemat asiat (N=14).



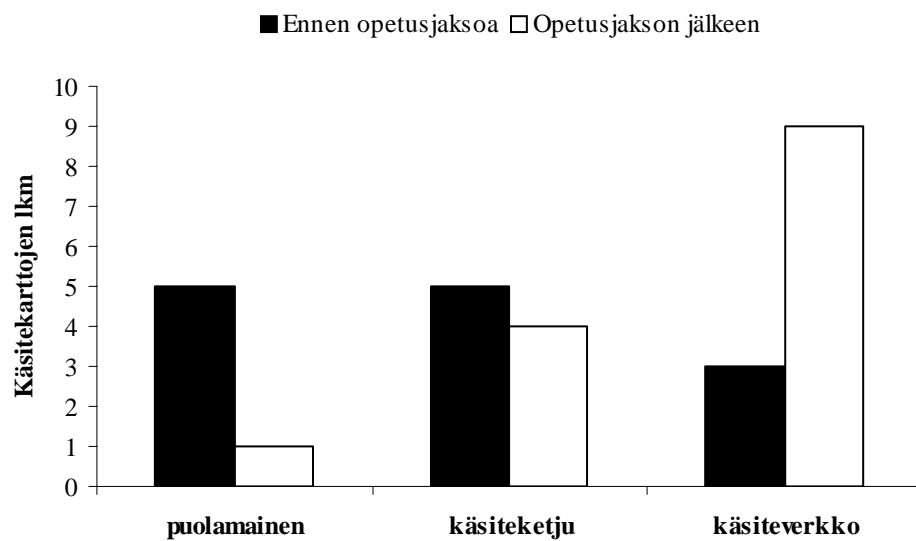
Kuva 17. Oppilaan (12) virheellinen käsitys hiilidioksidin alkuperästä.

Käsittekartat rakentuivat lopputilanteessa 83 erilaisesta sanasta tai käsitteestä. Oppilaat käyttivät kartoissaan yhdeksästä 22:een sanaa ja yhteensä kaikissa 14:ssä käsittekartassa oli 215 sanaa. Yleisemmin (10,7 %) sanat liittyivät edelleen puuhun, kuten mänty, kuusi, paju, koivu, käpy ja lehdet (kuva 18). Lisäksi oppilaat käyttivät sanoja puolukka, mustikka, ruohokasvi, metsä ja marjat kuvaamaan ekosysteemin tuottajia. Kuluttajista yleisemmin mainittiin kettu ja mato tai toukka. Lähes kaikki loppuvaiheen käsittekartat (11/14) sisälsivät linkkisanonja, joista mainituimpia olivat edelleen syö, kasvaa ja asuu. Erotuksena ensimmäisiin käsittekarttoihin esiintyi lopputilanteen käsittekartoissa (3/14) myös verbi hajottaa. Lisäksi kaikissa käsittekartoissa oli yksittäisten oppilaiden mainintoja sanoista elää, hengittää, kaivaa, kerää, koputtaa, kuluttaa, lakastuu, lentää, loisii, lämmittää, muodostaa, ottaa ruokaa, pesii, piiloutuu, pudottavat, rakentaa, ryövää, talvehtii, tutkii, tökkii, vaihtaa ja valaisee. Käsittekarttojen muodon tarkastelussa havaittiin, että kahdella oppilaista loppu-

tilanteen käsitekartta oli jo jäsentynyt verkkomaiseksi käsitekartaksi, jossa käsitteet olivat hierarkkisesti kytköksissä toisiinsa (kuva 19).



Kuva 18. Lopputilanteen käsitekarttoissa yleisemmin esiintyneiden sanojen osuus kaikista käytetyistä 215 sanasta (N=14). Ryhmä puu sisältää kaikki puihin liittyneet sanat.



Kuva 19. Käsitekarttojen muoto opetusjakson jälkeen (N=14).

Haastatteluissa kahdeksan systeemiajattelultaan eritasoisen oppilaan kokonaiskuvat ekosysteemistä tarkentuivat. Ravintoketjut tulivat esille lähes kaikkien haastatteluissa, mutta energian kulkuaan liittyvät asiat ymmärrettiin virheellisesti.



Taulukko 6. Oppilaiden käsityksiä auringon merkityksestä.

Miksi Aurinko on niin tärkeä maapallon elämälle?	Vastausten lukumäärä (N=14)	Esimerkki vastauksesta
<b>1. Kasvit tarvitsevat Aurinkoa</b>	1	<i>"Kasvit eivät kasvaisi ilman auringon valoa ja lämpöä" (5)</i>
a. jotta voisivat yhteyttää ja tuottaa happea	1	<i>"Koska kasvit tarvitsevat sitä yhteyttämiseen ja se myös lämmittää. Yhteyttämisestä tulee happea, joka on elintärkeää kaikelle elävälle" (12)</i>
b. jotta voisivat yhteyttää ja tuottaa happea ja ravintoa	1	<i>"Kasvit eivät voisi yhteyttää ilman aurinkoa, jolloin kasvit kuolisivat, jonka seurauksena eläimet eivätkä ihmiset saisi ravintoa ja happea" (9)</i>
<b>2. Auringosta saa energiaa</b>		
a. ja lämpöä	1	<i>"Auringosta maapallo saa lämpöä ja energiaa. Ilman niitä eivät kukat 'toimi' eivätkä mitkään eläimetkään" (11)</i>
b. ja valoa	2	<i>"Aurinko on tärkeä, koska se antaa energiaa ja valoa" (7)</i>
a. jota kasvit käyttävät yhteyttämiseen	1	<i>"Aurinko on tärkeä maapallon elämälle, sillä kasvit tarvitsevat yhteyttämiseen auringon valoa ja eläimet kasveja jne... Kasvit sitovat auringon valosta energiaa" (1)</i>
b. jota kasvit käyttävät hapen valmistamiseen	3	<i>"Kasvit saavat auringosta valoa, josta puolestaan kasvit antavat maapallolle happea" (8)</i>
c. sekä lämpöä ja valoa	3	<i>"Koska auringosta eliöt saavat lämpöä, valoa ja energiaa, jotka kaikki ovat elintärkeitä" (14)</i>
d. sekä lämpöä ja valoa, jota kasvit tarvitsevat sokerin valmistamiseen	1	<i>"Auringosta saadaan energiaa, jota kasvit keräävät ja valmistavat siitä sokeria. Auringosta saadaan myös lämpöä ja valoa, jota kasvit tarvitsevat yhteyttämiseen" (3)</i>

Taulukko 7. Oppilaiden käsityksiä aineiden kierroista.

<b>Miksi aineet eivät koskaan lopu toimivassa ekosysteemissä?</b>	<b>Vastausten lukumäärä (N=14)</b>	<b>Esimerkki vastauksesta</b>
<b>1. Kasvit tuottavat aineita, joita tarvitsevat kasvaakseen</b>	1	<i>”Kasvit tuottavat aineita millä ne kasvavat, ettei ne kuolisi” (5)</i>
<b>2. Luonto säätelee aineiden määrää ja ylläpitää tasapainoa</b>	4	<i>”Luonto vain on säädellyt sen niin. Kaikkea on tarpeeksi ja luonnon kiertokulku pysyy tasapainossa” (12)</i>
<b>3. Aineet kiertävät</b>		
a. esimerkiksi hiili ja vesi	3	<i>”Ne kiertävät, esim. hiili/(hiilidioksidi)” (10)</i>
b. sitoutuneina ravintoketjuihin	4	<i>”Koska aineet kiertävät eivätkä noin vain katoa. Esim. kun kettu syö siilin niin ravinteet ja energia siirtyy siilistä kettuun ja kun kettu kuolee niin aineet siirtyvät maahan ja sitä kautta tuottajiin” (14)</i>
c. sillä hajottajat vapauttavat ravinteet takaisin kasvien käyttöön	2	<i>”Aineet eivät koskaan lopu sillä ne aina siirtyvät ravintoverkossa ja sitten tarvitaan hajottajia (esim. mato), jotka voi hajoittaa ne taas kasvien käyttöön” (1)</i>

Taulukko 8. Oppilaiden käsityksiä kasvien merkityksestä ekosysteemissä.

<b>Mikä merkitys kasveilla on ekosysteemissä?</b>	<b>Vastausten lukumäärä (N=14)</b>	<b>Esimerkki vastauksesta</b>
<b>1. Kasvit ovat tuottajia</b>		
a. jotka valmistavat happea	3	<i>”Ne ovat tuottajia. ne tuottavat happea, joka on elintärkeää maapallon elämälle” (10)</i>
b. jotka valmistavat sokeria	1	<i>”Kasvit toimivat ekosysteemissä tuottajina. Ne tuottavat sokeria” (3)</i>
c. jotka valmistavat sokeria ja happea	3	<i>”Kasvit tuottavat sokeria ja happea” (11)</i>
d. kasvit sitovat Auringon energiaa ja tuottavat happea	1	<i>”Kasvit toimivat ekosysteemissä tuottajina. Ne sitovat auringon valosta energiaa, jota tarvitsevat eläimet ja ihmiset. Eli kasveilla on siis tosi suuri merkitys. Ne tuottavat myös happea, joka on meille tärkeitä!” (1)</i>
e. jotka tuottavat energiaa ja ravinteita	1	<i>”Kasvit ovat ekosysteemin tuottajia. Ne tuottavat energiaa ja ravinteita kuluttajille” (2)</i>
<b>2. Kasvit ovat eläinten ravintoa</b>		
a. ja ne tuottavat happea	3	<i>”Kasvit tuottavat happea ja jotkin eläimet saavat niistä ravintonsa” (13)</i>
b. ravinnosta saa energiaa	1	<i>”Kasveista tulee hiilidioksidia ja ne toimivat myös ravintona monille eliöille, jotka saavat niistä energiaa” (14)</i>
c. ravinnosta saa energiaa ja aineita	0	
<b>3. Kasvit toimivat myös hajottajina</b>		
	1	<i>”Kasvit ovat ekosysteemin tuottajia. Tuottajina ne tuottavat ravintoa, ne myös hajottavat esim. jätöksiä” (8)</i>

Taulukko 9. Oppilaiden käsityksiä toisenvaraisuudesta.

Miksi kuluttajia sanotaan toisenvaraisiksi?	Vastausten lukumäärä (N=14)	Esimerkki vastauksesta
1. Eivät tuota tärkeää asiaa	1	"Koska ne eivät tuota tärkeää asiaa, niin kuin esimerkiksi kasvit!" (6)
2. Tarvitsevat muita eliöitä	7	"Koska kuluttajat ovat riippuvaisia ekosysteemin muista asioista (erityisesti tuottajista)" (2)
3. Käyttävät muita eliöitä ravinnokseen	2	"Koska ne tarvitsevat jotain muuta eliötä elääkseen. Ne eivät ole omavaraisia niin kuin tuottajat eli kasvit. Vaan ne käyttävät muuta eläintä tai kasvia ravinnokseen" (9)
4. Tarvitsevat kasvien sitomaa energiaa	4	"Kuluttajat eivät voi itse tuottaa itselleen sokeria mistä ne saisivat energiaa ja siksi niiden täytyy syödä kasveja tai eläimiä saadaakseen energiaa ja muita aineita" (3)

Taulukko 10. Oppilaiden käsitykset hajottajista.

Mihin hajottajia tarvitaan?	Vastausten lukumäärä (N=14)	Esimerkki vastauksesta
1. Hajottajat hävittävät kuolleet eliöt	7	"Syömään jätöksiä, ruumiita ja ylimääräistä moskaa" (4)
2. Hajottajat käyttävät kuolleita eliöitä ravintonaan	2	"Hajottajat pitävät mm. ekosysteemin puhtaana, hajottamastaan aineest[a] ne pystyvät saamaan mahdollisimman paljon energiaa ja ravinteita" (8)
a. ja vapauttavat energian kasvien käyttöön	2	"Hajottajia tarvitaan (ravintoverkossa), jotta ne voivat hajottaa energian taas jälleen kasvien käyttöön" (1)
b. ja vapauttavat ravinteet kasvien käyttöön	2	"Hajottajat hajottavat kuolleita eläimiä, kasveja tai jätöksiä ravinnokseen ja vapauttavat taas ravinteet takaisin maaperään kasveille. Ne myös vapauttavat hiilidioksidia takaisin ilmakehään. Tätä kutsutaan maahengitykseksi" (9)
3. Ei vastausta	1	

Taulukko 11. Oppilaiden käsityksiä energian kulusta ekosysteemissä.

<b>Miksi sanotaan, että energia virtaa ekosysteemin läpi?</b>	<b>Vastausten lukumäärä (N=14)</b>	<b>Esimerkki vastauksesta</b>
<b>1. Aineet muuttuvat toiseksi tai kiertävät ekosysteemissä</b>	2	<i>”Tehtaat ja autojen pakokaasut tuottavat hiilidioksidia josta puut tekevät happea” (7)</i>
<b>2. Eliöt säteilevät energiaa</b>	1	<i>”Koska jokaisella eläimellä on hirveästi energiaa, että energia säteilee metsässä” (4)</i>
<b>3. Eliöt käyttävät sitä vuorotellen</b>	5	<i>”Koska kaikki kuluttajat, hajottajat ja tuottajat käyttävät sitä vuorotellen” (13)</i>
<b>4. Tuottajat sitovat Aurin- gon valoenergiaa</b>		
a. jota kuluttajat käyttävät	1	<i>”Auringon energia kiertää, koska kaikki liittyy toisiinsa. Kasvit yhteyttävät ja saavat auringosta energiaa. Energia siirtyy eläimiin ja palautuu eläimen kuoltua takaisin ilmaan monen mutkan kautta” (12)</i>
b. jonka hajottajat palauttavat kasveille	2	<i>”Koska energia kiertää hajottajista tuottajille, tuottajilta kuluttajille, kuluttajilta hajottajille, hajottajilta tuottajille, ja niin sama rata vain jatkuu ja jatkuu...” (14)</i>
c. josta hajottajat käyttävät viimeisen osan	2	<i>”Energian kuljettua pitkä matka hajottajalle, se saapuu päätepisteeseen. Hajottajan kuoltua energia virtaa takaisin avaruuteen” (11)</i>
<b>5. Ei vastausta</b>	1	

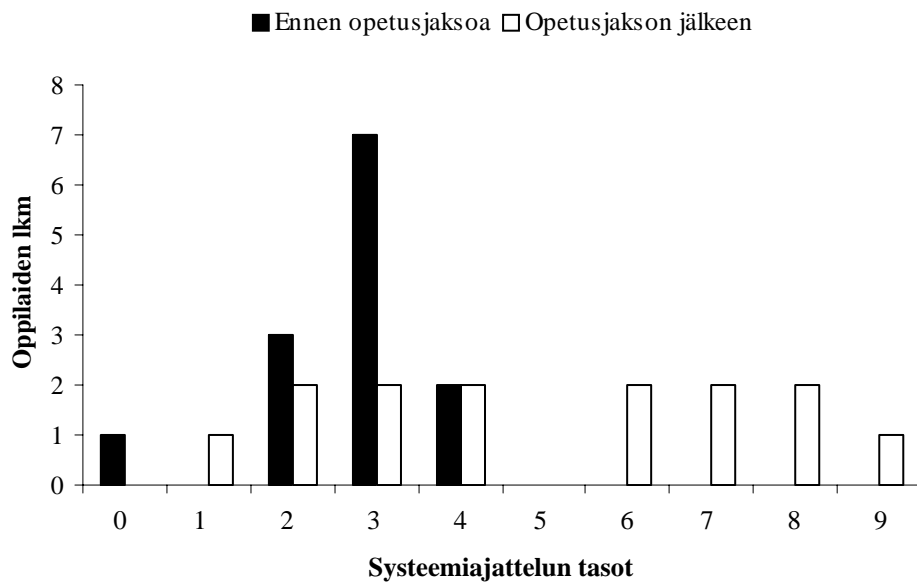
Taulukko 12. Oppilaiden käsityksiä kasvien hengityksestä.

Hengittävätkö kasvit?	Vastausten lukumäärä (N=14)	Esimerkki vastauksesta
1. Kasvit tuottavat happea hapesta	1	<i>”Kasvit tietyllä tapaa hengittävät ehkä, koska ne tuottaa paljon happea vähästä määrästä happea ja niiden lehdet on vihreitä” (7)</i>
2. Kasvit hengittävät hiilidioksidia	1	<i>”Hengittävät kasvit. Jos ne ei hengittäisi ei ne pystyisi kasvamaan. Ne tarvitsevat hiilidioksidia” (5)</i>
3. Kasvit ottavat hiilidioksidia ja vapauttavat happea	2	<i>”Kasvit hengittävät. Ne ottavat vastaan hiilidioksidia ja vapauttavat happea. Kasvien hengitys on siis päinvastainen kuin eläinten ja ihmisten” (11)</i>
4. Kasvit tarvitsevat kasvuunsa happea	3	<i>”Hengittävät happea, koska ilman happea ne eivät pystyisi elämään eikä kasvamaan” (4)</i>
5. Kasvien solut hengittävät	3	<i>”Hengittävät. Niiden solut hengittävät” (13)</i>
6. Soluhengitykseen tarvitaan sokeria ja happea	1	<i>”Kasvit hengittävät kasvaakseen, kasvi tarvitsee kasvaakseen sokeria ja happea, jota se saa kun se hengittää. kasvien soluhengityksen sivutuotteita ovat vesi ja hiilidioksidi” (9)</i>
7. Soluhengityksessä vapautuu energiaa	2	<i>”Hengittävät. Kasveillakin on solut ja niiden hengitys on soluhengitystä. Soluhengityksessä kasvin tuottama energia vapautuu” (2)</i>
8. Virheellinen käsitys soluhengityksestä	1	<i>”Kyllähän ne hengittävät. Kasvit hengittävät hiilidioksidia ja kasvin sokeri energia vapautuu. Lopputuotteena saadaan happea ja vettä → soluhengitys” (10)</i>

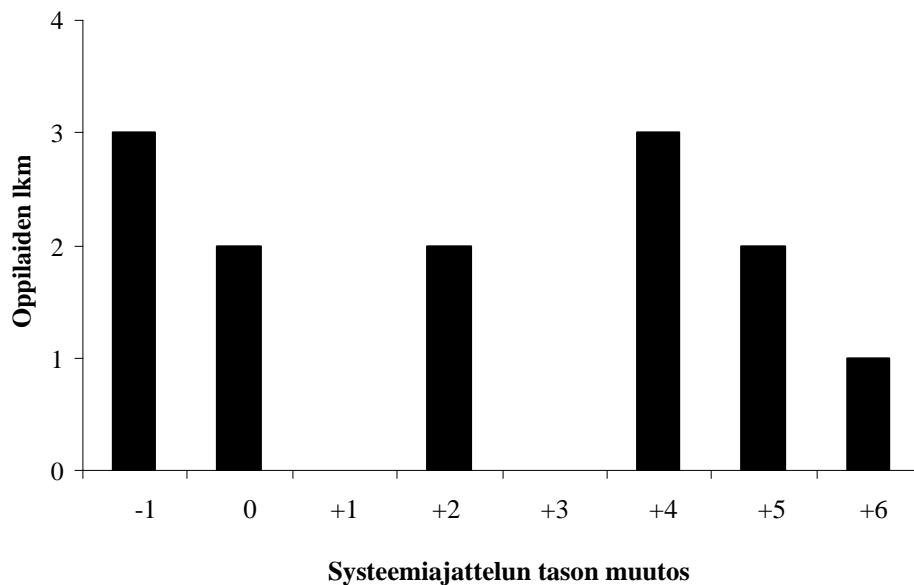
### 5.2.2. Oppilaiden systeemiajattelun tasot

Opetusjakson jälkeen oppilaiden ymmärrys ekosysteemistä oli pääosin parantunut. Opetusjakson aikana oppilaat kysyivät mm. miksi kasvit eivät ole makeita, vaikka ne tuottavat sokeria, mihin ne niitä [sokereita] tarvitsevat itse, onko talvella vähemmän happea ja käyttäkö kasvi hengityksestä vapautuneen hiilidioksidin uudelleen yhteyttämiseen. Kysymykset osoittivat, että osa oppilaista oli lähtenyt muokkaamaan tietorakenteitaan ja etsivät käsitteille uusia merkityksiä.

Systeemiajattelun tasoille oppilaat sijoittuvat alkutilannetta paremmin (kuva 20). Kaikille oli opetuksen aikana muodostunut kokonaiskuva ekosysteemistä ja puolet oppilaista saavutti systeemiajattelun korkeimpia tasoja. Yksittäisillä oppilailla systeemiajattelun tasot nousivat jopa viiden ja kuuden tason verran (kuva 21).



Kuva 20. Oppilaiden (N=14) systeemiajattelun tasot opetusjakson jälkeen.



Kuva 21. Yksittäisten oppilaiden systeemiajattelun tason kehitys opetusjakson aikana.

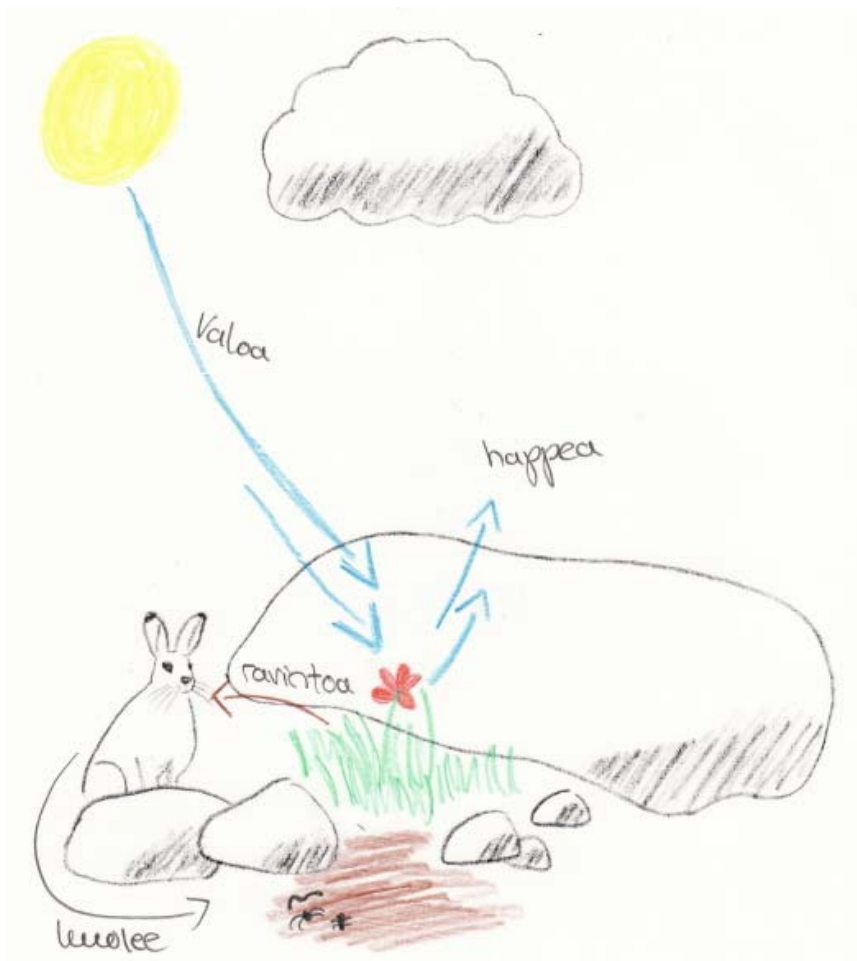
### 5.2.3. Auringon ja kasvien merkitys edelleen suuri

Oppilaiden mielestä Aurinko on ekosysteemin energialähde, josta kasvit ja eläimet saavat valoa ja lämpöä. Haastattelussa neljä oppilasta aloitti piirtämisen Auringosta perustellen: *kasvit tarttee (5), auringosta saadaan lämpöä ja energiaa (11), sieltä tulee sitä valoa ja lämpöä (10) ja kasvit tarvitsee auringonvaloa (9)*. Myös muut haastatteluun osallistuneet oppilaat piirsivät kuviinsa Auringon, mutta vasta piirrettyään ensin kasveja, hajottajia tai sadetta. Aurinkoa pidettiin siis edelleen tärkeimpänä elottoman luonnon tekijänä, joskin myös muita elottoman luonnon asioita mainittiin. Käsitelkartoissa elotonta luontoa kuvattiin

loppuvaiheessa Auringon (37,5 %) lisäksi sanoilla maaperä/multa (16,7 %), lumi (16,7 %), kivi, happi, ilma ja vesi. Myös öljy mainittiin tärkeänä ”maa-aineena”.

Auringon tärkeydestä maapallon elämälle kysyttiin kirjallisessa läksynkyselyssä (taulukko 6). Lähes kaikkien oppilaiden (78,5 %) vastauksista ilmeni, että Auringosta saadaan energiaa, enimmäkseen valoa. Valoenergian sitomisen kasvien fotosynteesissä mainitsivat kuitenkin vain kaksi oppilasta. Useammin kasvien tehtävä nähtiin virheellisesti energian muuttamisena hapeksi.

Odotetusti valtaosalla oppilaista (71,4 %) kasvit saivat edelleen merkityksensä hapen tuottajina (taulukko 8). Haastattelussa kasvit nähtiin tuottajiksi, jotka sitovat Auringon energiaa ja ovat ravintoa eläimille. Yhteyttämisestä kertoivat vain kaksi oppilasta ja kolme oppilasta korosti kasvien tuottavan happea (kuva 22). Käsitekartoissa puolestaan kasvilajien nimeäminen oli tarkempaa ja kahdessa käsitekartassa käytettiin varsinaista tuottajakäsitettä.



Kuva 22. Oppilaan (12) haastattelussa piirtämässä kuvassa kasvien happea tuottava merkitys korostuu ravintoa enemmän.

Kurssikokeen kysymykseen kasvien merkityksestä neljä oppilasta mainitsivat kasvit eläinten ravintona. Yhdessä vastauksessa oppilas ymmärsi kasvien merkityksen energiansitojina, tosin hän myös korosti kasvien hapentuottajan tehtävää. Virheellisesti kasvien oli ymmärretty toimivan myös hajottajina tai ylimääräisen veden käyttäjinä: *kasvit tekevät happea, käyttää ylimääräisen veden luonnosta, että maa ei olisi vedenpeitossa ja ne hyödyntää joitain eläimiä tai jotkut hyötyy* (7).



Eläinten riippuvaisuus kasveista tai toisista eläimistä näkyi myös kuluttajien toisenvaraisuutta käsitelleen kysymyksen vastauksissa (taulukko 9). Oppilaiden mukaan riippuvuus saattoi liittyä joko hapen, ravinnon tai energian tarpeeseen, tosin yhdellä oppilaalla kuluttaminen ei liittynyt edellä mainittuihin asioihin: *koska ne tarvitsevat toisia kuluttaakseen, esimerkiksi tikka, se tarvitsee puuta, että se voisi hakata nokallaan koloa eli kuluttaa* (5).

#### 5.3.4. Kasvien kasvuun tarvitaan myös energiaa

Kasvien kasvu nähtiin opetusjakson jälkeen hieman laajemmin. Kolme oppilasta ymmärsi hapen tärkeäksi aineeksi kasvien kasvuun ja kaksi yhdisti hapen ja sokerin soluhengitykseen: *kasvi saa energiansa itse valmistamastaan sokerista* (3) ja *kasvi saa energiansa valmistamalla vedestä ja hiilidioksidista sokeria auringon valon avulla* (9). Yleisemmin oppilaat olivat useaa eri mieltä kasvin energialähteistä, koska suurimmaksi osaksi energialähteenä pidettiin Auringon (12/14) lisäksi vettä (5/14), hiilidioksidia (2/14) ja maata (2/14) tai maaperän ravinteita (2/14) tai hajottajien toimintaa (1/14).

*”Kasvi on saanut energiaa auringon valosta ja hiilidioksidista”* (13)

*”Kasvi saa energiansa auringosta, vedestä ja ravinteista”* (12)

*”Kun hajottajat ovat hajottaneet jotain niin kasvi nappaa energian maasta”* (14)

Myös kasvien tapa hengittää jakoi nyt oppilaiden käsityksiä, esimerkiksi opetusjaksolla eräs oppilas hämmästeli herneiden soluhengitystä: *”Eiväthän ne [herneet] oo eläviä...”*. Kasvien hengityksestä kysyttiin kurssikokeen piirrostehtävän yhteydessä (taulukko 12). Osalle oppilaista (28,6 %) hengittäminen oli edelleen kaasujen vaihtoa, yleensä juuri hiilidioksidin vastaanottamista ja hapen vapauttamista. Kolme oppilasta näki hapen tärkeäksi aineeksi kasvien kasvuun ja kolme oppilasta mainitsi kasvin hengittävän soluillaan: *Kasvit hengittävät. Ei, kasveilla ei ole keuhkoja vaan ne hengittävät soluillaan. Soluhengityksessä vapautuu hiilidioksidia ja vettä* (14). Kahdessa vastauksessa oppilas korosti kasvien hengittävän soluillaan, ei keuhkoilla, kuten eläimet: *Kasvit hengittävät, koska he ottavat valoa ja hiilidioksidia, ja imevät vettä. Heillä ei ole silti keuhkoa, kuin meillä ihmisillä* (6). Yhdessä vastauksessa oppilas ajatteli huulisolut kasvien hengityselimiksi: *Kasvit hengittävät, koska niiden lehtien alapuolella on huulisoluja, joissa on ilmareikä. Ja koska siinä hernepurkki-kokeessa oli tullut hiilidioksidia. Kasvien hengitystä kutsutaan soluhengitykseksi* (1).

#### 5.3.2. Energia ja aineet siirtyvät ravintoketjuissa

Energia nähtiin tärkeäksi asiaksi eliöille. Haastatteluissa oppilaat kertoivat energian saavan kasvit elämään pidempään ja jänis käytti energiaa mm. lisääntymiseen, poikasten ruokkimiseen ja liikkumiseen. Kettu puolestaan jaksoi energian turvin pyydystää lisää jäniksiä. Energiaa oli kuitenkin vaikea määrittellä ja oppilaat vertasivatkin sitä autojen polttoaineeseen: *no, auton bensa... jos ei tankkaa, niin sitten se autokin pysähtyy* (14).

Käsitteenä ravintoketju oli tuttu. Eräs oppilas määritteli haastatteluissa ravintoketjua seuraavasti: *no, alkaa täältä kasveista, jotka ottaa maasta ravinteita, saa auringosta energiaa, sitten pomppii pupunen, joka käyttää kasveja omaksi ravinnokseen ja saa niistä energiaa, sitten taas kettu syö tämän jäniksen täältä, kettu kuolee, hajottajat tuolta mullan alta jossain syövät taas ketun ja hajottavat sen ravinteiksi sitten sinne maahan* (11).

Kokonaisuudessaan ravintoketjut ja ravinto yhdistettiin energian kulkuun. Kun kurssikokeessa kysyttiin jäniksen ja ilveksen energialähteistä (liite 3), mainitsivat oppilaat lähes poikkeuksetta ravinnon. Osa vastauksista viittasi kuitenkin enemmän itse toimintaan,

esimerkiksi syömiseen, kuin ravinnon sisältämään energiaan: *jänis saa energiansa puuta nakertamalla* (4) ja *ilves on saanut energiansa syömällä pikkunisäkkäitä, energiaa se saa auringosta ja kasveista* (5). Jälkimmäisessä vastauksessa näkyy vahva Auringon merkitys ekosysteemin energialähteenä.

Ravintoketjuilla selitettiin myös energian virtausta ekosysteemin läpi (taulukko 11). Kun oppilaita pyydettiin kurssikokeessa selittämään, miksi energian sanotaan virtaavan ekosysteemin läpi, he vastasivat usein (35,7 %) energian siirtyvän eliöltä toiselle vuorotellen. Neljässä vastauksessa oppilas kuvaili ravintoketjua, jossa hajottajat käyttivät viimeisen energian tai vapauttivat energian kasveille. Eräs oppilas oli myös korostanut käsittekartassaan energian ja aineen kulkua erivärisin nuolin (kuva 23). Sama oppilas kertoi myöhemmin haastattelussa energian palautuvan avaruuteen:

*Oppilas: "No siis, se vois vaikka alkaa tästä pajusta... ensin tuo jänis syö sitä ja saa siitä sitä energiaa ja niitä... tota...jotain niitä ravintojuttuja... sitten se kettu saa siitä, ja sitten kettu kuolee niin nuo madot saa... sitten niistä... sitten se menee tonne..."* (2)

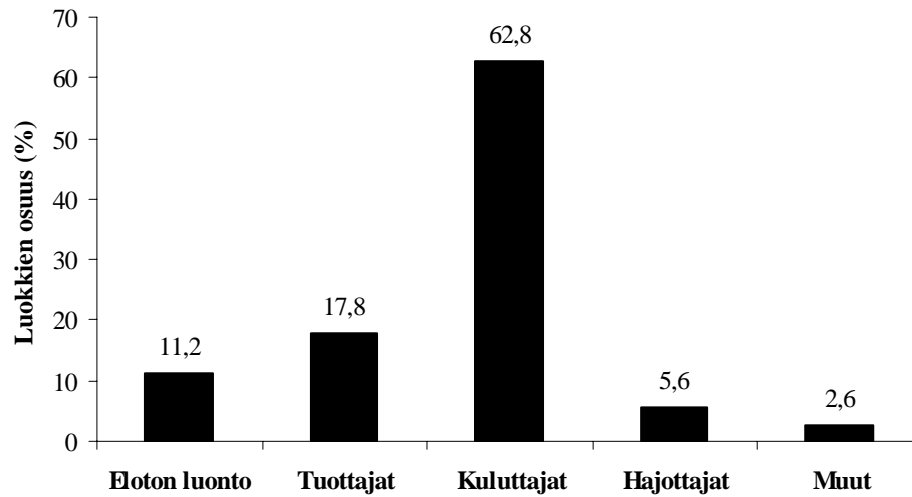
*Tutkija: "Niin mikä sinne menee?"*

*Oppilas "Sinne meni pelkästään... No, ei sinne enää energiaa mennyt" (2)*

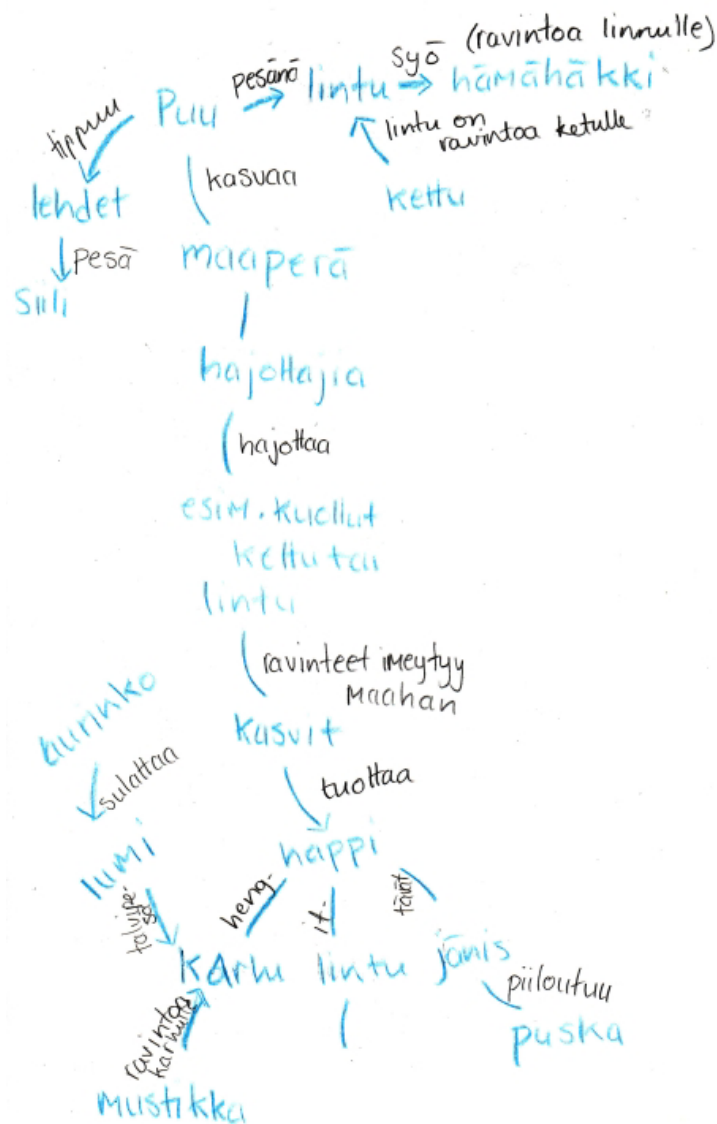
*Tutkija: "Mihin se energia sitten vois mennä?"*

*Oppilas: "No... se katos jonnekin!" (2)*

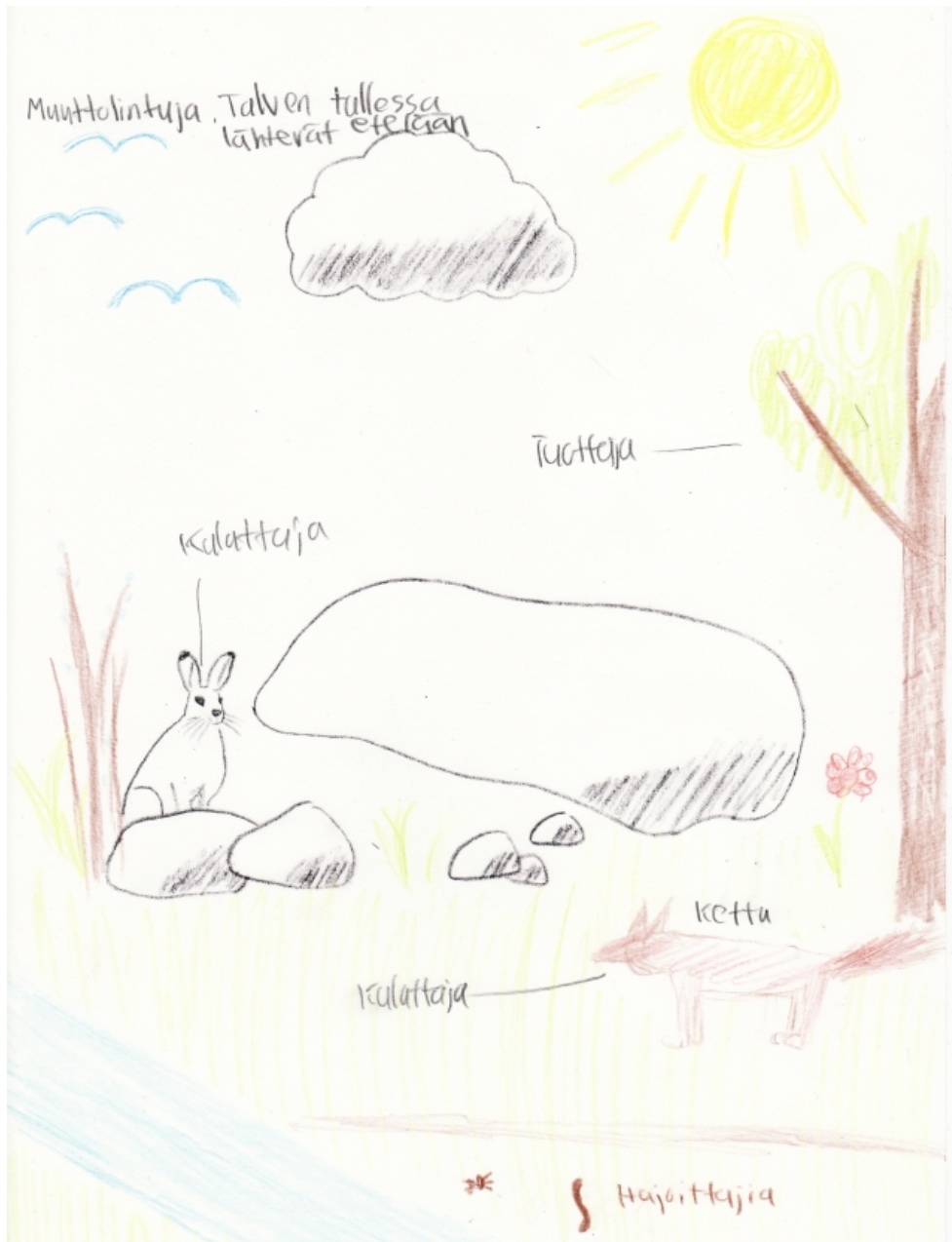




Kuva 24. Lopputilanteen käsiteltoissa (N=14) esiintyneet sanat luokiteltuina ekosysteemin osiin.



Kuva 25. Oppilas (1) yhdistää maaperän onnistuneesti hajottajiin ja kasvien kasvuun. Käsitelketju haarautuu käsitteistä puu ja happi.



Kuva 26. Oppilaan (9) haastattelussa piirtämä kuva, jossa ravintoketjut muodostuvat tuottajista, kuluttajista ja hajottajista.

### 5.3.5. Hajottajien merkitys aineiden kierrossa jäi vähäiseksi

Vaikka hajottajia mainittiinkin jo useammin, jäi suurimmalle osalle oppilaista epäselväksi hajottajien toiminnan kytkeytyminen aineiden kiertoihin. Läksynkyselyn toinen kysymys käsitteli aineiden kiertoja (taulukko 7) ja myös kurssikokeessa kysyttiin hajottajien yhteydestä aineiden kiertoihin (taulukko 10). Opetusjakson aikana yli puolella (64,3 %) oppilaisista oli käsitys joko aineiden kierroista tai siirtymisestä ravintoverkoissa. Hajottajia ei tässä vaiheessa vielä osattu yhdistää aineiden kiertokulkuun, vaan ainoastaan kaksi mainitsi hajottajat. Neljän oppilaan mielestä aineet eivät lopu, koska luonto on itsessään säädellyt tasapainon ja aineiden kiertokulun. Yksi oppilas ajatteli kasvien valmistavan kaiken tarvittavan.

Kurssikokeessa oppilailta kysyttiin uudelleen aineiden kiertoa, mutta nyt kysymys oli, mihin hajottajia tarvitaan (taulukko 10). Puolet oppilaista ei edelleenkään yhdistänyt hajottajia aineiden kiertoihin, vaan ajattelivat hajottajat ekosysteemin puhdistajiksi, jotka hävittävät kuolleet eliöt esimerkiksi valmistamalla niistä multaa. Vain kaksi oppilasta liitti hajottajien toiminnan ravinteiden palauttamiseen maaperään. Toinen heistä ymmärsi myös hajottajien hengittävän. Hajottajien tehtävät saatettiin ymmärtää myös väärin, koska kaksi oppilasta ajatteli hajottajien palauttavan energian kasvien käyttöön.

Hajottajien toiminta mietitytti oppilaita myös haastatteluissa. Kaikille ei ollut selvää, mitä hajottajat ekosysteemissä tekevät. Eräs oppilas kuvaili hajottajia seuraavasti:

*Oppilas: ”Ne on ne on niitä jotka... on tuolla maaperässä olevia bakteereja ja sitten pieneliöitä ja... kun nää kuolee niin se kuluttaa niitten ruumiit ravinnokseen, se hajottaa ne ...sitten se tota vapauttaa ne hajottajat sen energian maaperään takas kasveille, minkä se saa näistä ja kasveista” (9)*

*Tutkija: ”Entäs siinä ravinnossa ollut aine, mitä sille tapahtuu? Hmm... Ootko sitä miettinyt?”*

*Oppilas: ”Niin, ne muuttuu takas hiileks... ja siis no, öljyiks ja... mitä nyt noista tulee... kun kasvit kuolee, sitten se maatuu, niin eiks siitä tule loppujen lopuks... jotain turvetta tai öljyä tai... ...siis se menee...” (9)*

Hajottajien tehtävä saatettiin siis yhdistää energian eikä niinkään aineiden palautumiseen kasveille. Eräs oppilas kertoi kasvien tarvitsevan auringonvaloa ja ravinteita maaperästä, muttei osannut yhdistää piirtämiensä hajottajien toimintaa kasvien ottamiin ravinteisiin. Toinen oppilas päätteli kuitenkin onnistuneesti hajottajien ja kasvien välisen yhteyden (kuva 27).

*Tutkija: ”Mitäs sitten, mikä näitten hajottajien tehtävä on?”*

*Oppilas: ”No, ne löytää tästä tämmösen kuolleen kukan... Sitten ne hajottaa sen” (14)*

*Tutkija: ”Mitä siitä tulee sitten? Mitä sen jälkeen tapahtuu?”*

*Oppilas: ”Hmm... Ottaaks nää puut sitten siitä [juurillaan]...” (14)*



Kuva 27. Oppilaan (14) haastattelussa piirtämästä kuvasta löytyy yhteys tuottajien ja hajottajien väliltä.

### 5.3.6. Yhteenveto oppilaiden systeemiajattelusta opetusjakson lopussa

Yhdeksäsluokkalaisten käsitys ekosysteemistä perustuu vahvasti kasveihin ja elottoman elinympäristön aineisiin sekä eläimiin hapen ja ravinnon kuluttajina. Vettä, ravinteita ja Aurinkoa ajatellaan tuottajille elintärkeiksi asioiksi ja fotosynteesi mielletään kasvien tavaksi hengittää tai saada energiaa. Kuluttajien toisenvaraisuus perustellaan yleisemmin hengitykseen tarvittavalla hapella tai ravinnosta saatavalla energialla. Hajottajat ajatellaan ravintoketjujen pääte-elioiksi ja niiden toiminnasta on virheellisiä käsityksiä. Ekosysteemin tuottajat nähdään hajottajia tärkeämmiksi.

## 6. TULOSTEN TARKASTELU

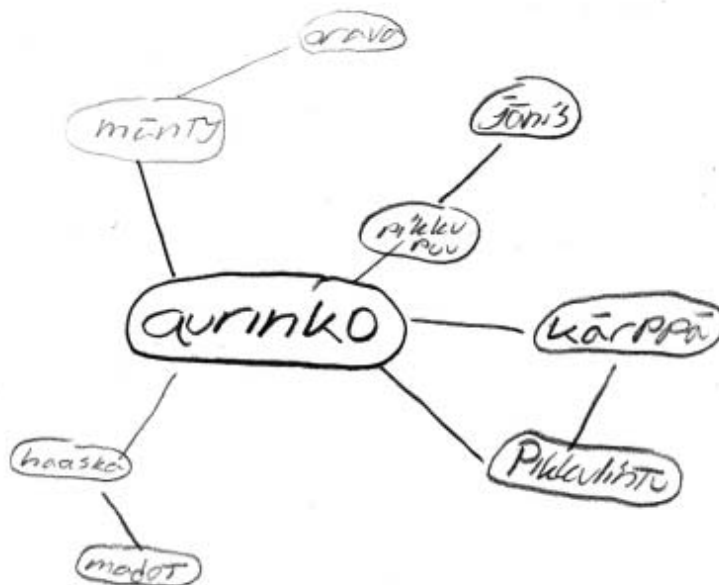
### 6.1. Millaisten ekosysteemin osien ja toimintojen varaan yhdeksäsluokkalaiset rakentavat ekosysteemikäsityksensä?

#### 6.1.1. Oppilaille muodostuneet kokonaiskuvat ekosysteemistä

Opetusjakson aikana oppilaille kehittyi erilaisia käsityksiä ekosysteemin rakenteesta ja toiminnasta. Aiemmin esitetyt systeemiajattelun tasot kuvaavat yksittäisten oppilaiden ymmärryksen tasoa. Tulosten tarkastelussa systeemiajattelun tasot yhdistettiin ja niistä muodostettiin kolme luokkaa, jotka kuvaavat oppilaille muodostuneita kokonaiskuvia ekosysteemistä. Luokkaan Kasvit tarvitsevat Aurinkoa sijoittuivat viisi systeemitasojen 1-3 oppilasta (5, 7, 8, 12 ja 13). Kasvit tuottavat happea luokka muodostettiin systeemiajattelun tasoista 4-6, joille sijoittui neljä oppilasta (4, 6, 10 ja 14). Kolmas luokka Kasvit saavat energiaa yhteyttämällä sisältää viisi systeemiajattelutasojen 7-9 oppilasta (1, 2, 3, 9 ja 11).

#### 6.1.2. Kasvit tarvitsevat Aurinkoa

Luokkaan **Kasvit tarvitsevat Aurinkoa** sijoittuivat oppilaat, joiden ekosysteemiajattelua hallitsi voimakas käsitys Auringon merkityksestä elämälle (kuva 28). Oppilaiden mielestä kasvit eivät kasvaisi ilman auringon valoa ja lämpöä (5) ja auringonvalosta kasvit saattoivat valmistaa happea tai auringonvalo sisälsi kasvien tarvitsemaa hiilidioksidia (kuva 17, s. 39). Aurinko nähtiin hyvin tärkeäksi osaksi ekosysteemiä, jopa niin, että sitä ehdotettiin kuuluvaksi ekosysteemin tuottajiin. Ajatus ei ole poikkeuksellinen, koska Larna (1985) havaitsi saman seitsemäs ja kahdeksäsluokkalaisilla, joista vajaa puolet (47,3 %) sijoitti auringon tuottajien joukkoon.

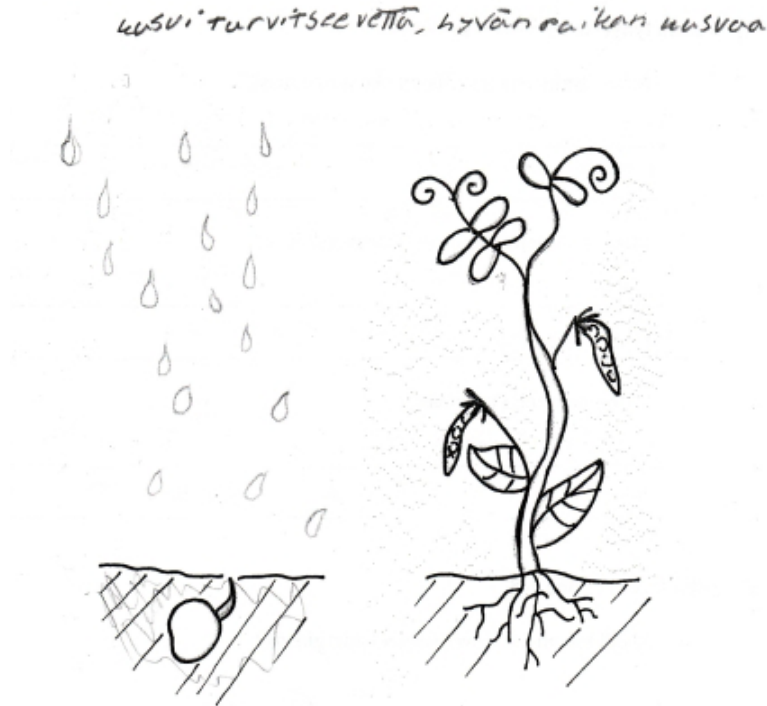


Kuva 28. Auringon merkitys korostuu oppilaan (7) loppuvaiheen puolamaisessa käsittekartassa.

Auringon merkitys kasveille jäi tässä luokassa vain ”elintärkeäksi asiaksi” eivätkä oppilaat ymmärtäneet energian sitoutuvan fotosynteesissä tai kasvien valmistavan sokeria. Samanlainen epäselvä Auringon ja tuottajien välinen yhteys löytyi Larnan (1985) tutkimilta yläkoululaisilta ja Stavyn ym. (1987) yhdeksäsluokkalaisilta, joista Auringon maininneista oppilaista vain 43 % yhdisti Auringon kasvien fotosynteesiin. Heikko ymmärrys kasvien toiminnasta aiheutti sen, että oppilaat ehdottivat kasvien ravinnon olevan peräisin

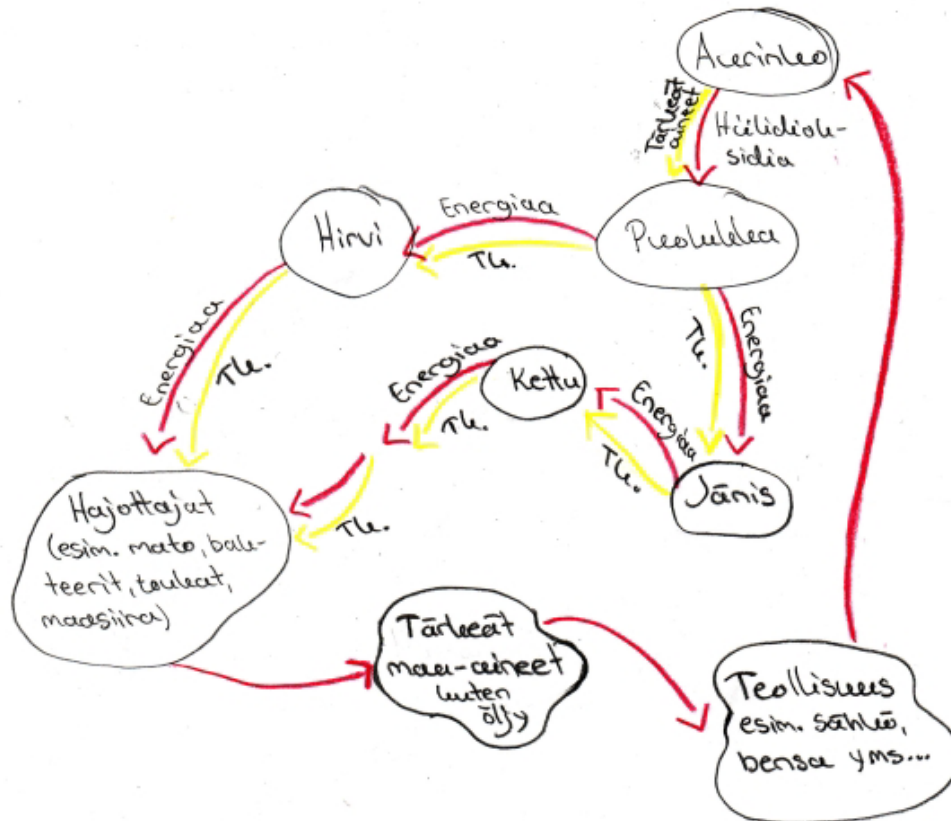


maasta. Käsitys on melko yleinen, sillä myös Adeniyin (1985) ja Stavyn ym. (1987) tutkimat 13–15-vuotiaat oppilaat ehdottivat orgaanisten yhdisteiden, ravinnon tai hiilidioksidin olevan peräisin maasta, Adeniyilla 27 % ja Stavylla ym. 40 % oppilaista. Maaperä tai multa olikin asioita, joita oppilaiden on havaittu pitävän tärkeinä kasvien kasvulle (Barker & Carr 1989c, Minkkinen 2008). Lisäksi oppilailta oli voimakas käsitys kasvien tarvitsemasta vedestä (kuva 29), joka myös Leachin ym. (1996a) mukaan kuuluu osaksi 14–16-vuotiaiden ajattelua. Kokonaisuymmärryksen osalta oppilailta jäi kuitenkin ymmärtämättä kasvien ottamien aineiden todellinen merkitys (ks. Cañal 1999).



Kuva 29. Oppilaan (7) ajatus kasvien kasvuunsa tarvitsemista asioista.

Oppilaille oli tyypillistä, että he luettelivat kasvien kasvuunsa tarvitsemia asioita pysymättä yhdistämään niitä kasvien toimintaan, yhteyttämiseen. Barakin ym. (1999) mukaan tämä johtuu oppilaiden ns. input-output – ajattelumallista, jossa kasvit ainoastaan vastaanottavat ja luovuttavat aineita. Jopa joka viidenneltä 16-vuotiaalta puuttui käsitys kasvien toiminnasta (Barak ym. 1999). Oppilaiden heikko ymmärrys fotosynteesistä näkyi siinä, että oppilaat ajattelivat tuottajat hapentuottajiksi: *kasvi[t] saavat energiansa auringon valosta ja pystyvät siten tuottamaan happea* (13) tai *yhteyttämisestä tulee happea* (12). Toisaalta se myös muodosti oppilaille käsityksiä useista kasvien energialähteistä: *kasvi on saanut energiaa maasta ja auringosta* (7), *auringon valosta ja hiilidioksidista* (13) ja *auringosta, vedestä ja ravinteista* (12). Oppilas, jolla oli virhekäsitys hiilidioksidin alkuperästä, esitti käsittekartassaan hiilidioksidin ekosysteemin energialähteenä (kuva 30). Ajatus kasvien useista energialähteistä on varsin tyypillinen ja havaittu aiemminkin. Adeniyi (1985) havaitsi pienen osan (8 %) oppilaistaan ajattelevan ravinteet kasvien energialähteeksi ja Andersonin ym. (1990) mukaan vielä yliopisto-opiskelijoillakin on Auringon lisäksi ajatuksia useista muista energialähteistä.



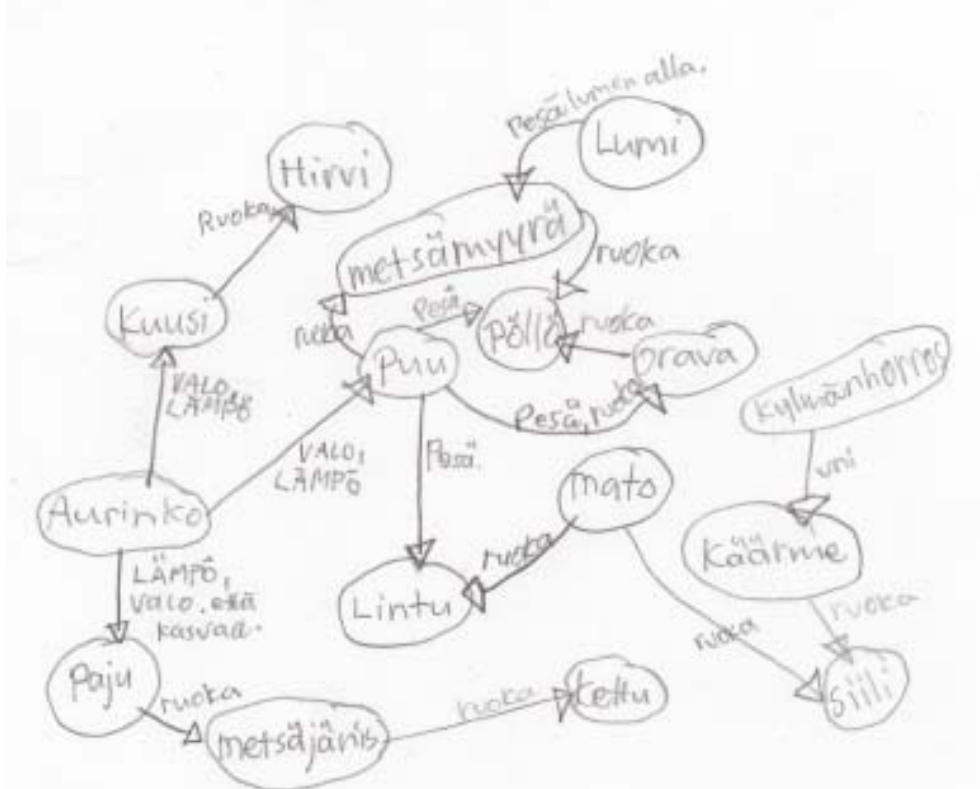
Kuva 30. Oppilaan (12) lopputilanteen käsittekartassa on säilynyt virheellinen käsitys Auringon energian ja hiilidioksidin välisestä yhteydestä. Oppilas ajattelee myös virheellisesti energian palautuvat takaisin Aurinkoon. Käsittekartta on käsitteketju, joka alkaa Auringosta.

Virheellisten käsitysten vuoksi oppilaille ei ollut muodostunut selkeää käsitystä kasveista biomassan tuottajina, vaan kasvit ajateltiin yksinkertaisemmin eläinten ravinnoksi. Barkerin & Carrin (1989a) mukaan harva 14-vuotias ajattelee fotosynteesin liittyvän hiilihydraattien valmistamiseen. Tuottajat ymmärrettiin osin myös virheellisesti: *tuottajina ne tuottavat ravintoa, ne myös hajoittavat* (8) tai oppilas ei osannut kertoa haastattelussa, mitä tuottajien tuottama ravinto sisälsi. Tulos saa tukea Özayn & Öztasin (2003) tekemistä havainnoista, joiden mukaan vain vajaa neljännes 14–15-vuotiaista osasi määritellä tuottajan orgaanisten aineiden valmistajaksi. Saman verran oppilaista piti kasveja ainoastaan hapen tuottajina. Bellin (1985) mukaan oppilaat ajattelevat helposti ravinnon olevan ennemminkin peräisin kasvin ulkoisista lähteistä kuin kasvien sisällä valmistuneeksi ja ravinto ajatellaan vain hengissä säilymisen välttämättömyydeksi eikä niinkään energialähteeksi.

Puutteellisen fotosynteesin ymmärtämisen seuraukset näkyivät myös siinä, että hiilidioksidi mainittiin eläinten tai energiantuotannon tuottamaksi ja kasvien tarvitsemaksi aineeksi, josta kasvit valmistivat happea: *tehtaat ja autojen pakokaasut tuottavat hiilidioksidia, josta puut tekevät happea* (7). Kasvit hengittivät hiilidioksidia eli oppilaat ajattelivat kasvien hengityksen eläimille päinvastaiseksi: *hengittävät kasvit, ne tarvitsevat hiilidioksidia* (5). Kasvien käänteinen hengitys tuli myös esille Barkerin & Carrin (1989c) tutkimilla oppilailla, joista 81 % ajatteli kasvien hengittävän hiilidioksidia sisään ja happea ulos. Cañalin (1999) mukaan käsitys kasvien käänteisestä hengityksestä muodostuu tilanteessa, kun oppilas pyrkii yhdistämään kasvien tarvitsemat aineet fotosynteesiin.

Kuluttajien toisenvaraisuus käsitettiin hapen tarpeeksi, koska kasvien vapauttamasta hapesta on *hyötyä eläimille* (5) ja *kuluttajat tarvitsevat hapentuottajia* (13). Ravintoketjuis-

sa kasvit olivat eläinten ravintoa, mutta käsitykset ravinnon sisältämistä aineista ja energiasta olivat vähäisiä tai virheellisiä. Ajateltiin esimerkiksi, että kuluttajat *eivät tuota itse tarvitsemaansa energiaa, vaan saavat sitä tuottajilta* (12). Eräällä oppilaalla oli myös omaperäinen ajatus tikasta, joka *tarvitsee puuta, että voisi hakata nokallaan koloa eli kuluttaa* (5). Oppilaiden käsittekartoissa esiintyi runsaasti kuluttajia ja niistä muodostuneita lyhyitä syömisketjuja, joista puuttuivat hajottajat (kuva 31). Huomioitavaa oli myös, ettei yksikään tähän luokkaan kuuluvista oppilaista pystynyt yhdistämään hajottajia tuottajiin. Tuottajien ei esimerkiksi ajateltu tarvitsevan hajottajia, sillä *kasvit tuottavat aineita millä ne kasvavat* (5) ja aineet eivät siksi lopu toimivassa ekosysteemissä. Koska hajottajien toimintaa ei ymmärretty, saatettiin jopa ajatella, että tuottajat *hajoittavat esim. jätöksiä* (8) tai hajottajien tehtäväksi nähtiin pelkästään kuolleiden eläinten hävittäminen.



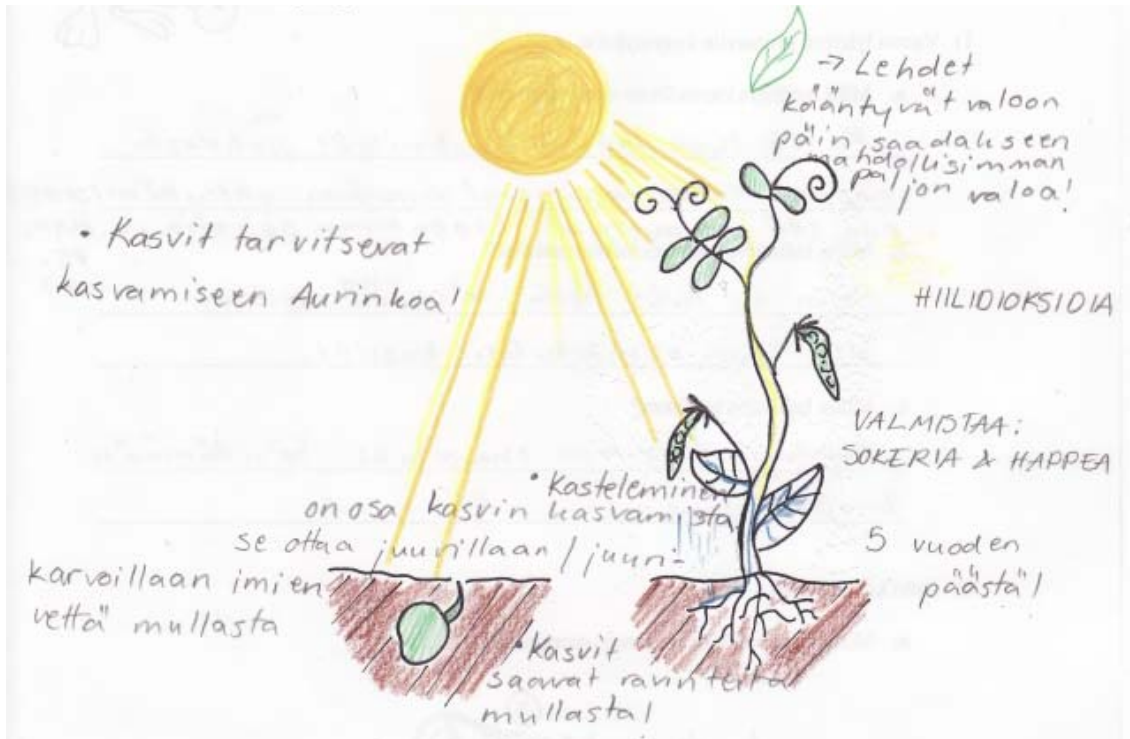
Kuva 31. Oppilaan (5) lopputilanteen käsittekartan lyhyestä Auringosta alkavasta ravintoketjusta puuttuvat hajottajat. Käsitteverkko on muodostunut käsitteen puu ympärille.

### 6.2.3. Kasvit tuottavat happea

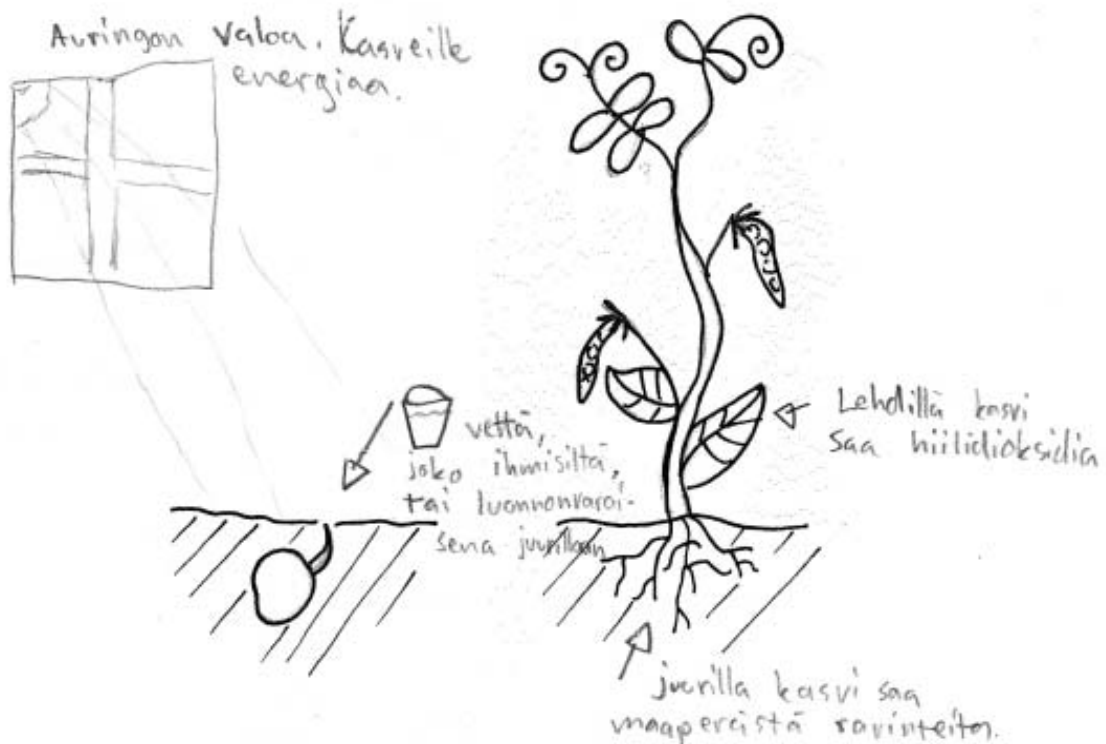
Luokan **Kasvit tuottavat happea** oppilailla oli odotetusti vahva mielikuva kasvien happea tuottavasta merkityksestä. He ymmärsivät kasvit eläinten ravinnoksi ja ravinnon sisältävän sekä energiaa että ravinteita. Kuitenkin ajattelussa oli voimakkaammin esillä hapen tuottaminen yhteyttämisessä.

Yhteyttämiseen kasvit tarvitsivat vettä, ravinteita ja Aurinkoa, jonka avulla ne pystyivät *tuottamaan sokeria ja HAPPEA!* (6) (kuvat 32 ja 33). Kasvien lehdillään ottaman hiilidioksidin merkitys yhteyttämiseen unohtui tai oppilaat ajattelivat sen edelleen yksinkertaisesti hapen raaka-aineeksi: *[kasvit] saa hiilidioksidia, ja tekee siitä puhdasta happea* (6). Hiilidioksidin ajattelemisen sokerin rakennusaineeksi saattoi olla vaikeaa siksi, että Stavyn ym. (1987) mukaan oppilaat eivät tunnista sokerin sisältämiä alkuaineita tai eivät miellä kaasua kasvien massan syyksi. Opetusjaksolla ilmenikin, että kysyttäessä sokerin sisältämän hiilen alkuperää kaksi oppilasta ehdottivat spontaanisti ensin maata ja vasta

tämän jälkeen ajattelivat ilmakehän hiilidioksidia. Toisaalta väärinymmärrys voi johtua oppilaiden puutteellisesta tavasta jakaa ekosysteemin osat elottomiin ja elollisiin tekijöihin, jolloin maaperää voi ajatella eläväksi ja kasvien tarvitsemaksi (Hogan & Fisherkeller 1996). Olisi kuitenkin tärkeää, että oppilaat ymmärtäisivät hiilidioksidin merkityksen fotosynteesissä ja tätä kautta hiilen ja hapen kierron ekosysteemissä (Waheed & Lucas 1992).



Kuva 32. Hiilidioksidin merkitys kasvien kasvu on jäänyt irralliseksi oppilaan (6) piirroksessa.



Kuva 33. Oppilas (10) luettelee kasvin tarvitsemia asioita kuitenkin yhdistämättä niitä fotosynteesiin.

Oppilaiden mukaan ekosysteemin eläimet käyttivät kasvien tuottamaa happea ja söivät kasveja ja toisia eläimiä. Voimakas hapen korostus näkyi kuitenkin virhekäsityksenä kuluttajien toisenvaraisuudessa, joka erään oppilaan mielestä johtui siitä, että *ne eivät tuota tärkeää asiaa, niin kuin esimerkiksi kasvit* (6). Toisenvaraisuuteen liitettiin myös oikea käsitys ravinnon ja energian tarpeesta: *ne tappavat muita ja syövät niitä* (4), *eivät selviä omillaan, vaan tarvitsevat toisia eläimiä tai kasveja ravinnokseen* (10) tai *ne eivät itse voi tuottaa energiaa* (14). Tosin jälkimmäinen ajatus kertoo, ettei soluhengitystä energiaa vapauttavana tapahtumana ollut ymmärretty ja, että ravinnon yhteys soluhengityksessä vapautuvaan energiaan jäi epäselväksi. Ravinto sisälsi energiaa, jonka voimin kuluttajat pysyivät *elämään ja liikkumaan* (10), kuten auto bensiinillä. Stavyn ym. (1987) mukaan vajaa kolme neljänestä yhdeksäsluokkalaisista ymmärsi, että eläimet eivät voisi elää maapallolla ilman kasveja. Oppilaat siis ymmärsivät, että eläimet tarvitsevat kasveja, vaikka eivät niitä söisikään, mutta Hoganin & Fisherkellerin (1996) esittämää ajatusta siitä, etteivät pedot tarvitsisi kasveja, jäi tutkimuksen oppilaiden osalta havaitsematta.

Kasvien ja eläinten hengitykseen liittyi edelleen virheellisiä ajatuksia. Eräs oppilas ajatteli, että *kasvit hengittävät, koska he ottavat valoa ja hiilidioksidia, ja imevät vettä* (6) eli piti edelleen fotosynteesiä kasvien tapana hengittää. Erotuksena edellisen luokan ajatuksiin oli kuitenkin, että oppilaat korostivat kasvien soluhengitystä: *kasveilla ei ole keuhkoja, vaan ne hengittävät soluillaan* (14) ja *kasveilla ei ole silti keuhkoja* (6). Oikeansuuntaisia, tosin vielä hapuilevia yrityksiä hengityksestä olivat maininnat, että *kasvit hengittävät happea* (4) ja *kasvit hengittävät hiilidioksidia ja kasvin sokeri energia vapautuu* (10). Hengityksen mekanismeja ei kuitenkaan pystytty tarkemmin selittämään. Kuten Haslam & Treagust (1987) havaitsivat, oli oppilaiden vaikea ymmärtää kasvien hengitystä, vaikka suurin osa (87,8 %) 12-vuotiaista tiesi jokaisen kasvisolun hengittävän ja elävien solujen tarvitsevan energiaa elääkseen. Toisaalta myös ajatus siitä, että kasvit varastoivat valmistamansa sokerin tärkkelykseksi, eivätkä käytä sitä itse, voi johtaa Kinchin (2000c) mukaan virheelliseen ymmärrykseen kasvien hengityksestä. Lisäksi epäselvyydet kasvien kyvystä hengittää voivat johtua Stavyn & Waxin (1989) mukaan siitä, että oppilaiden on vaikea mieltää kasveja eläviksi ts. hengittäviksi, lisääntyviksi ja energiaa elintoimintoihinsa tarvitseviksi eliöiksi. Kinchin (2000c) epäilee, että kasvien nimeäminen tuottajiksi voi johtaa virhekäsitykseen kasvien energian tarpeesta ja kulutuksesta. Kasveilla ja eläimillä olikin oppilaiden mielestä erilaiset tarpeet.

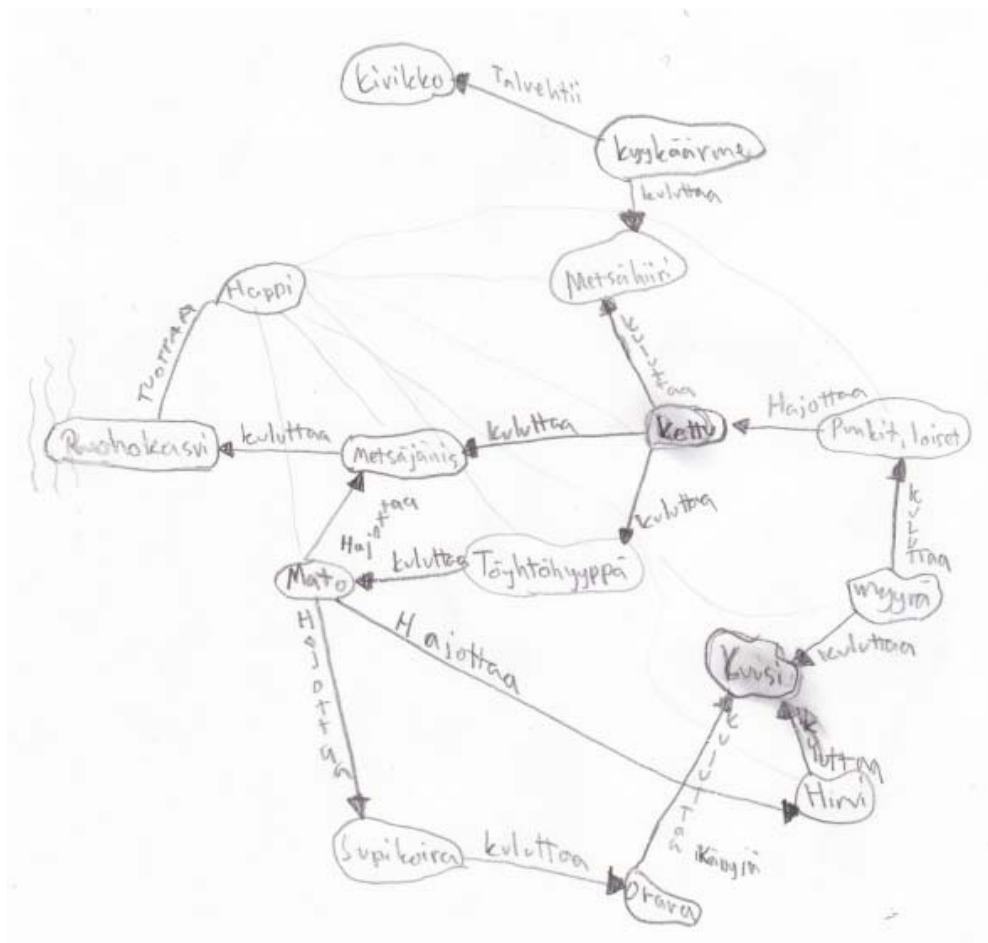
Kasvien ja eläinten erilaisuudesta johtuen oppilaat antoivat Andersonin ym. (1990) mukaan erilaisen merkityksen kasvien ja eläinten ravinnolle. Kasvien ravintoa olivat vesi, maa, mineraalit, auringonvalo ja lannoitteet, mutta hiilidioksidi unohdettiin usein mainita. Ja energian kasvit saivat lähes kaikkien mielestä Auringosta (Anderson ym. 1990). Vastavasti myös luokan Kasvit tuottavat happea oppilaat ajattelivat fotosynteesin enemmänkin hapentuotantona tai sokerin valmistuksena kuin energiaa sitovana toimintana. Auringon energia ajateltiin kuitenkin ekosysteemin elämän perustaksi ja kasvit tärkeiksi energian kannalta, koska energian avulla kasvit *tuottavat meille ihmisille niin sanottua puhdasta hengitettävää* (6) ja ekosysteemin energia oli peräisin *noilta tuottajilta* (14). Jälkimmäistä ajatusta voidaan pitää jo erinomaisena oivalluksena ekosysteemin energian alkuperästä ja kulusta ravintoketjuissa, joskin käsitys voi johtaa myös virheelliseen ymmärrykseen tuottajista. Kinchin (2000c) nimittäin toteaa, että tuottajien käsittäminen energian lähteiksi voi estää ymmärryksen tuottajien omasta energian kulutuksesta.

Energian kulkua oppilaat selittivät käsitekarttoihinsa ja haastatteluissa piirtämillään ravintoketjuilla. Energian virtausta ekosysteemissä selitettiin seuraavasti: *koska se [energia] siirtyy aina seuraavan otuksen tai kasvin käyttöön. Esim. jänö syö kasvin ja ilves syö jänön saaden tämän energian* (10). Toisaalta tiedettiin myös, että *energia on meillä vain*



”lainassa” (10). Oppilailla ei havaittu olevan käsitystä energian kasaantumisesta ravintoketjun loppuun, kuten Adeniyi (1985) havaitsi samanikäisillä nigerialaisoppilailla, mutta eräällä oppilaalla oli mielenkiintoinen selitys energian virtaukselle ekosysteemissä: *koska jokaisella eläimellä on hirveästi energiaa, että energia säteilee metsässä* (4).

Hajottajat nähtiin toisaalta pelkästään ekosysteemin siistijöiksi, jotka söivät *jätöksiä, ruumiita ja ylimääräistä moskaa* (4) ja toisaalta niiden toimintaan liitettiin virhekesitys: *hajottavat kuolleita eliöitä ja niiden jätöksiä palauttaen energian takaisin kasvien käyttöön* (10) ja *kun hajottajat ovat hajottaneet jotain niin kasvi nappaa energian maasta* (14). Alkumittauksessa nämä oppilaat epäilivät kasvien tarvitsemien ravinteiden olevan peräisin kuolleista eliöistä. Opetusjakson aikana he olivat kuitenkin lähteneet rakentamaan uutta käsitystä aineiden alkuperästä, mutta sekoittaneet sen energian kulkuun. Esimerkiksi oppilas (6) kertoi haastattelussa hajottajista, mutta kysyttäessä kasvien ottamien ravinteiden alkuperää hän ei osannut yhdistää niihin hajottajien toimintaa. Tyypillistä vastauksille oli hajottajien toiminnan perustelemattomuus ja selittäminen luonnon kiertokulkuna, joka *aina on ollut hyvin luonnon itsensä järjestelmä* (6). Kuten Leach ym. (1996a) havaitsivat, eivät oppilaat kokeneet tärkeäksi selittää, mitä hajoamisen aikana tapahtuu. Oppilaat siis kertoivat tuottajista, kuluttajista ja hajottajista, mutta kuten myös Lin & Hu (2003) havaitsivat, jäivät näiden eliöiden väliset yhteydet usein (64 % 13-vuotiaista) selittämättä. Hajottajien toiminta ja niiden merkitys ekosysteemin eliönä jäikin oppilaille vähäiseksi eikä hajottajia osattu yhdistää tuottajiin (kuva 34).

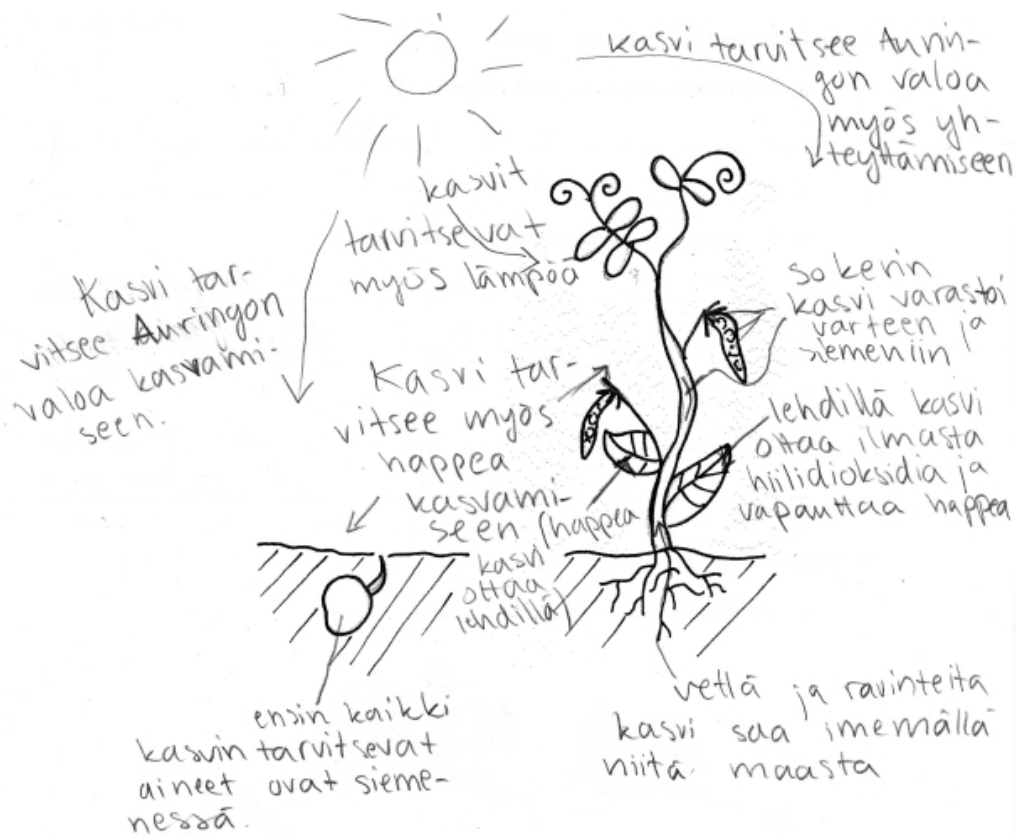


Kuva 34. Oppilaan (10) käsitekartassa ei ilmene hajottajien ja tuottajien välistä yhteyttä. Käsiteverkon yläkäsitteenä on happi.

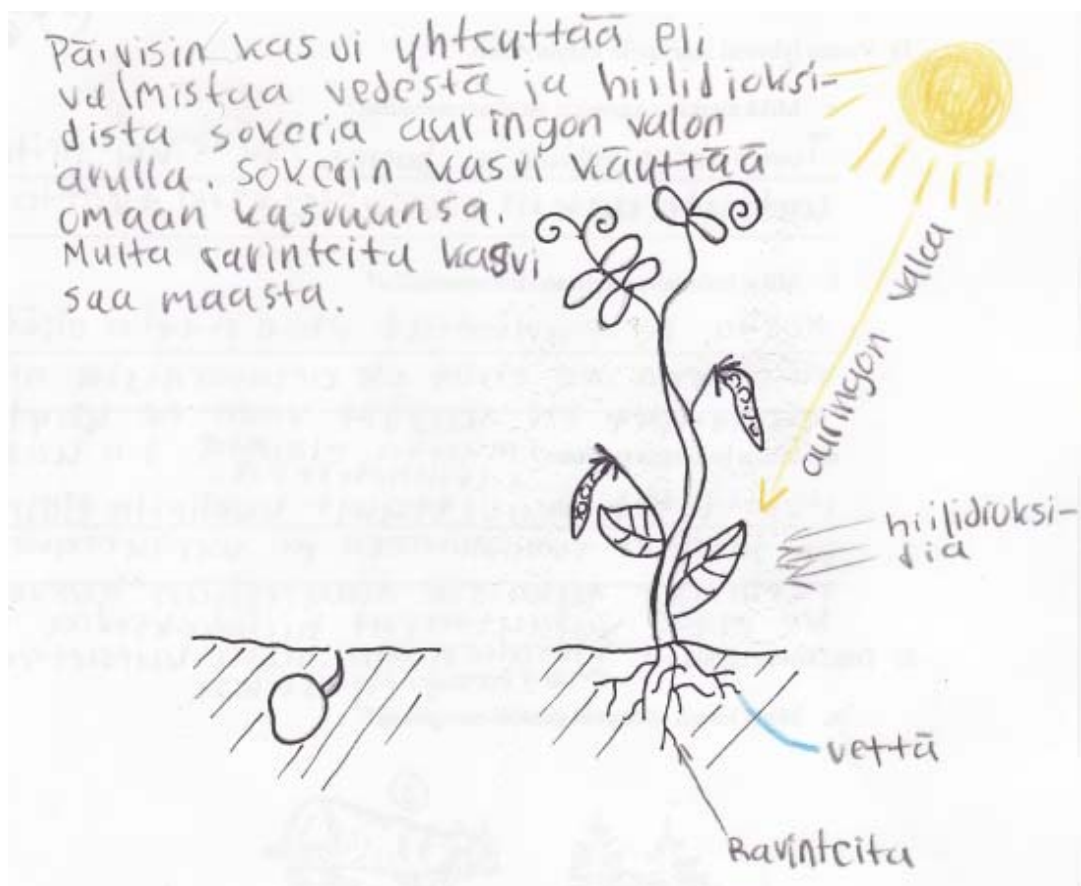
#### 6.2.4. Kasvit saavat energiaa yhteyttämällä

Luokan **Kasvit saavat energiaa yhteyttämällä** oppilaille oli kehittynyt melko monipuolinen käsitys ekosysteemistä. Erotuksena aiempiin luokkiin luokan oppilaat yhdistivät Auringon kasvien yhteyttämiseen, jossa kasvit *sitovat auringon valosta energiaa* (1). Tuottaja-käsite oli edellisiä luokkia täsmällisempi: kasvit nähtiin eläinten ravinnoksi ja fotosynteesistä vapautunut happi sekä eläinten että kasvien tarvitsemaksi aineeksi. Myös hajottajat yhdistettiin onnistuneesti aineiden kiertoon, *kun eläin kuolee hajottajat hajottavat sen taas maahan kasvien käyttöön* (1). Oppilaiden ekosysteemiajattelun heikkoudeksi muodostui kuitenkin huono ymmärrys soluhengityksestä.

Kasvit ymmärrettiin ekosysteemin tuottajiksi, jotka tarvitsivat yhteyttämiseen auringonvaloa, vettä ja hiilidioksidia. Yhteyttämässä kasvit valmistivat sokeria ja vapauttivat happea (kuvat 35 ja 36). Fotosynteesin mekanismit olivat oppilaille vieraita ja he selittivätkin yhteyttämisen siihen tarvittavien lähtöaineiden ja lopputuotteiden avulla, samoin kuin Barakin ym. (1999) tutkimat 16-vuotiaat. Eläimet olivat ekosysteemin toisenvaraisia kuluttajia, jotka olivat riippuvaisia kasvien sitomasta energiasta: kasvit *sitovat auringon valosta energiaa, jota tarvitsevat eläimet* (1) ja kasvit *tuottavat energiaa ja ravinteita kuluttajille* (2). Yhteyttäminen nähtiin myös pelkästään kasvien ominaisuudeksi, koska eläimet *eivät osaa sitoa energiaa auringonvalosta kuten kasvit* (1). Kasvit olivatkin energian suhteen omavaraisia ja saivat *energiansa itse valmistamastaan sokerista* (3). Omavaraisuuteen liittyen vastauksista ei kuitenkaan ilmennyt, ajattelivatko oppilaat kasvien olevan osittain riippuvaisia eläinten vapauttamasta hiilidioksidista, kuten Songer & Mintzes (1994) havaitsivat vai käyttivätkö kasvit fotosynteesiin omassa soluhengityksessään vapautunutta hiilidioksidia: *soluhengityksessä kasvi vapauttaa hiilidioksidia sekä vettä* (3) ja *kasvien soluhengityksen sivutuotteita ovat vesi ja hiilidioksidi* (9). Huomattavana erona aiempiin ekosysteemiajatteluihin tämän luokan oppilaat kertoivat kasvien kasvun tarvitsevan *sokeria ja happea* (9).



Kuva 35. Oppilaan (3) ymmärrys kasvien yhteyttämisestä ja hapen tarpeesta.

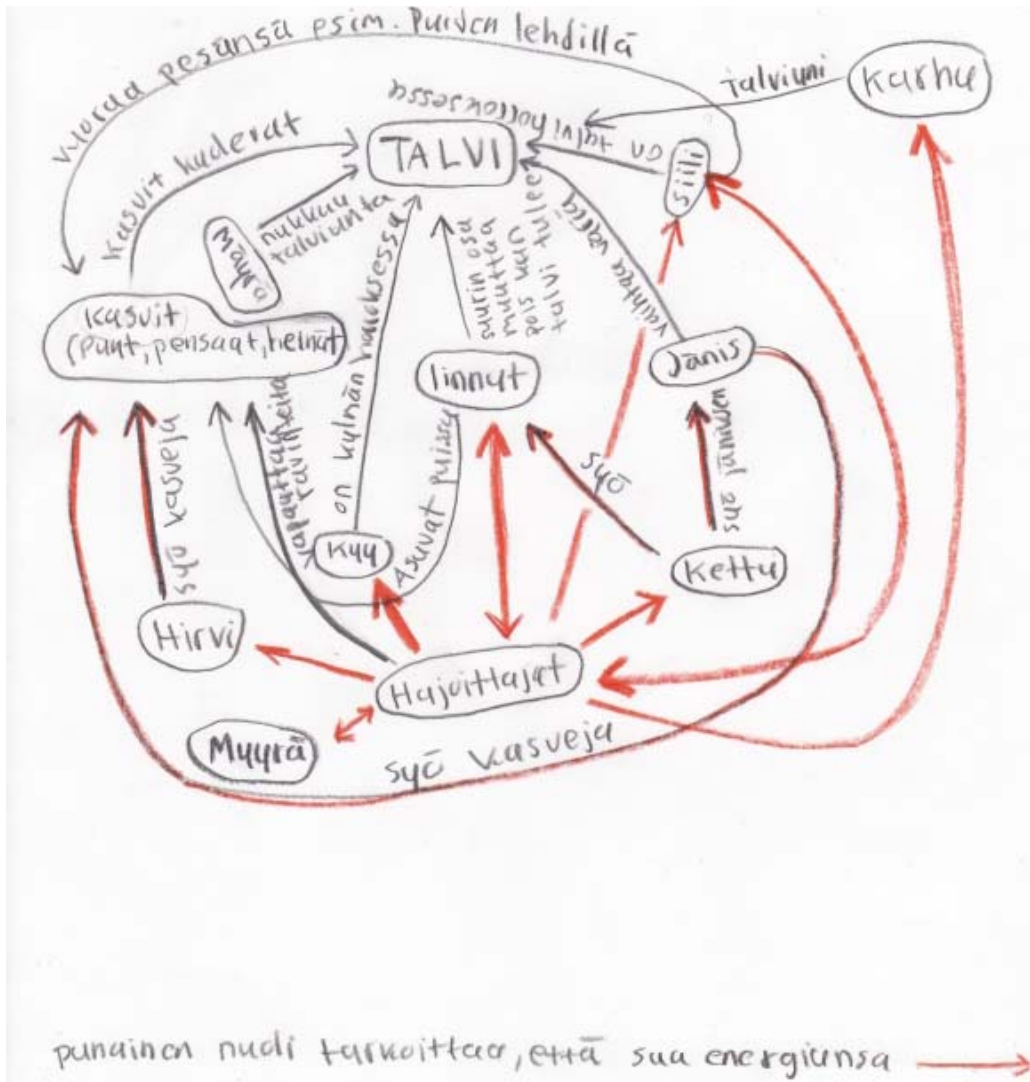


Kuva 36. Oppilaan (9) käsitys kasvien yhteyttämisestä ja sokerin tarpeesta.

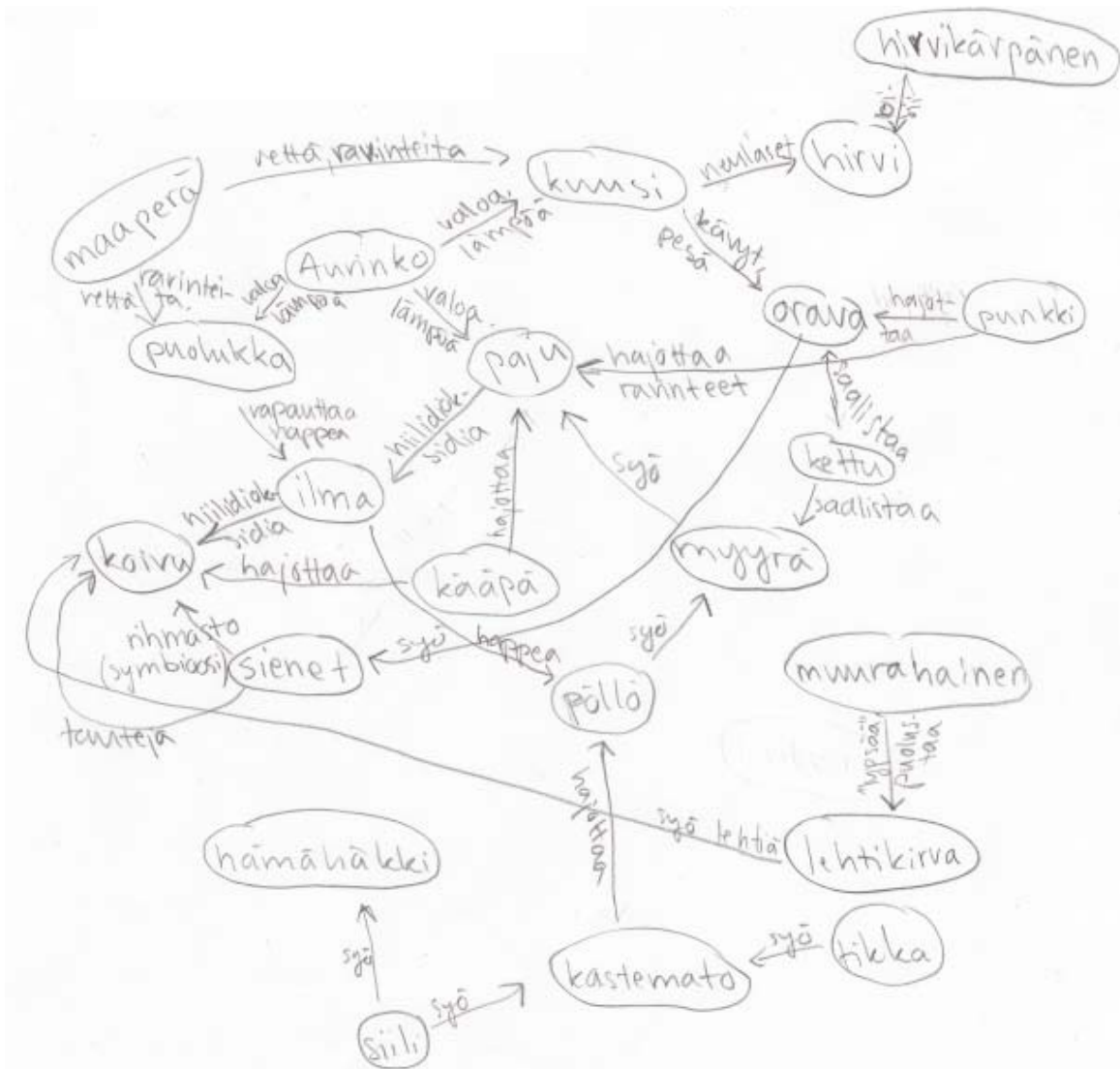


Kasvien soluhengityksestä oppilailla esiintyi ristiriitaisia käsityksiä. Ensinnäkin oppilaat kirjoittivat kasvien soluhengityksestä, jossa *kasvien tuottama energia vapautuu* (2). Mutta toisaalta ajateltiin myös, että kasvien energia oli yhteyttämiseen käytetyn auringonvalon lisäksi peräisin maasta, ravinteista ja vedestä: *kasvi on saanut energiansa auringosta, vedestä ja ravinteista* (2) tai *juurillaan maasta ja lehdillään yhteyttämässä* (1). Oppilailla olikin muodostunut käsitys, että fotosynteesi oli kasvien tapa saada energiaa (ks. Kinchin 2000c): *auringosta kaikki kasvit saavat energiaa* (2), *kasvit sitovat auringon valosta energiaa* (1) ja *kasvi saa energiansa valmistamalla vedestä ja hiilidioksidista sokeria auringon valon avulla* (9). Soluhengityksen vaikeasta ymmärtämisestä kertoi myös se, ettei yksikään oppilaista selittänyt tarkemmin soluhengityksen energiamuutoksia esimerkiksi sitä, miten ravinnon sisältämä energia muuttuu liike- ja lämpöenergiaksi. Tulokset eivät myöskään kerro, ymmärsivätkö oppilaat kasvien hengityksen jatkuvaksi tapahtumaksi vai ajattelivatko sen loppuvan päivisin, kun fotosynteesi alkaa. Özay & Öztas (2003) nimittäin havaitsivat, että kasvien jatkuva hengitys on vaikea ymmärtää, koska puolet oppilaista ajatteli kasvien hengittävän vain öisin. Soluhengitys on oppilaille fotosynteesiä vieraampi käsite (Lazarowitz & Penso 1992).

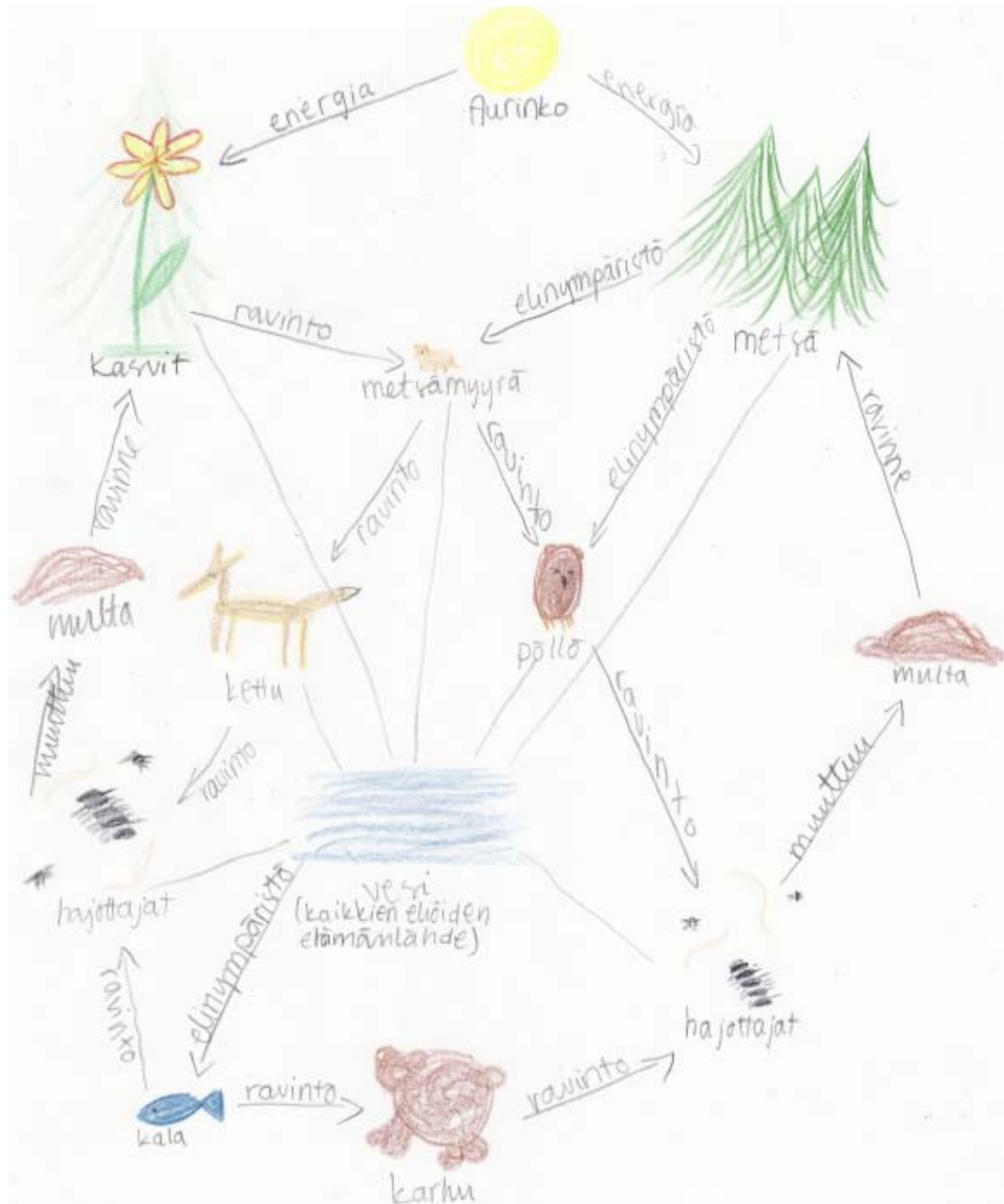
Energian kulkua oppilaat selittivät ravintoketjujen avulla: *kasvit tuottavat itse energiaa ja käyttävät sitä omiin tarpeisiin, kasvinsyöjäeläin saa kasvin energian syömällä kasvin, petoeläin saa energian syömällä toisen eläimen ja hajottajat saavat energian syömällä kuolleita eläimiä ja kasveja* (3) ja *hajottajan kuoltua energia virtaa takaisin avaruuteen* (11). Oppilaiden käsitelmissä korostui hajottajien merkitys (kuva 37) ja hajottajien ja tuottajien välinen yhteys (kuva 38). Hajottajien toiminta ekosysteemissä ymmärrettiin, tosin tuottajien hajoamista eivät kaikki maininneet, vaan hajottajat yhdistettiin ainoastaan kuluttajiin. Ymmärrys energian ja aineen eroista välittyi käsitelmissä, jossa oppilas on eritellyt eläinten ravinnon ja kasvien ravinteet (kuva 39).



Kuva 37. Oppilas (9) korostaa käsittekartassaan hajottajien saavan energiansa metsän muista kuluttajista. Käsitteverkossa on kaksi samanarvoista yläkäsitettä: talvi ja hajoittajat.



Kuva 38. Oppilaan (3) käsittekartassa hajottajien toiminta kohdistuu myös tuottajiin. Käsiteverkko rakentuu käsitteen paju ympärille.



Kuva 39. Oppilas (11) on ymmärtänyt ravinteiden ja ravinnon eron. Käsitekartta on hierarkkinen käsitteverkko, jonka yläkäsitteenä on Aurinko.

## 6.2. Mitkä ovat yleisimmät virheelliset käsitykset?

Yhdeksäsluokkalaisten käsitykset ekosysteemistä osoittivat oppilaiden ajattelevan virheellisesti etenkin kasvien energialähteistä, yhteyttämisestä, eliöiden soluhengityksestä ja hajotustoiminnasta. Ekosysteemissä tapahtuvat energian ja aineen muutokset muodostuivatkin esteiksi systeemiajattelulle ja sen kehittymiselle.

Oppilaiden oli vaikea selittää, mitä energia on tai miten sitä voi tuntea tai nähdä. Puutteellisesti ymmärrettyjen energiaan liittyvien käsitteiden ja kemiallisten reaktioiden on havaittu vaikeuttavan biologian oppimista (Stavy ym. 1987, Taber 1989, Anderson ym. 1990, Goldring & Osborne 1994, Barak ym. 1997). Ongelmia ilmenee, kun oppilas ei löydä merkityksellistä selitystä energialle ja aineelle tai sekoittaa niihin liittyvät käsitteet tietorakennelmissaan (Leach ym. 1996a, b). Esimerkiksi oppilaiden on vaikea selittää fotosyn-

teesin sisältämiä energiamuutoksia (Waheed & Lucas 1992) ja ymmärtää soluhengitys energiaa vapauttavana toimintana (Stavy ym. 1987). Heikko ymmärrys fotosynteesistä ja hengityksestä puolestaan vaikeuttavat kokonaiskuvan ymmärtämistä.

Nicholls & Ogborn (1993) havaitsivat yläkouluikäiset ymmärtävän energian eliöiden tarvitsemaksi asiaksi, jota eliöt, enimmäkseen eläimet käyttävät. Energiaa ja aineita eläimet saivat ravinnosta, tosin oppilaat eivät osanneet selittää miten. Kasvien ajateltiin puolestaan varastoivan energiaa eikä kasvien biomassaa yhdistetty käsitteeseen ravinto. Tästä seuraten oppilailla oli toisistaan irralliset käsitteet: energia ja aine, joiden yhteydestä esimerkiksi hiilihydraattimolekyyleissä oli harvoin tietoa (Stavy ym. 1987, Anderson ym. 1990).

Virheellinen käsitys kasvien useista energialähteistä näkyi kaikilla systeemiajattelun tasoilla ja johtui ensinnäkin ajatuksesta, että kasvit ovat hapentuottajia ja toiseksi heikosta fotosynteesin ymmärryksestä. Kasvien keskeisimpänä energialähteenä pidettiin Aurinkoa, tosin Auringosta saatu energia ajateltiin sellaisenaan kasvien käyttöenergiaksi. Tämä käsitys pois sulki ajatukset kasvien soluhengityksestä ja sokerin käytöstä energialähteenä. Eläinten ravinnosta saamaa energiaa ja hengittämällä saatua happea ei osattu käsitteinä yhdistää, vaan ruuansulatus- ja hengityselimistön välinen yhteistyö eläinten energia-aineenvaihdunnassa jäi irralliseksi kokonaisymmärryksestä. Hajottajille puolestaan annettiin liian suppeat tai virheelliset merkitykset, mikä johti heikkoon ymmärrykseen hajotustoiminnasta mm. virhekäsitykseen energian vapautumisesta maahan kasvien käyttöön.

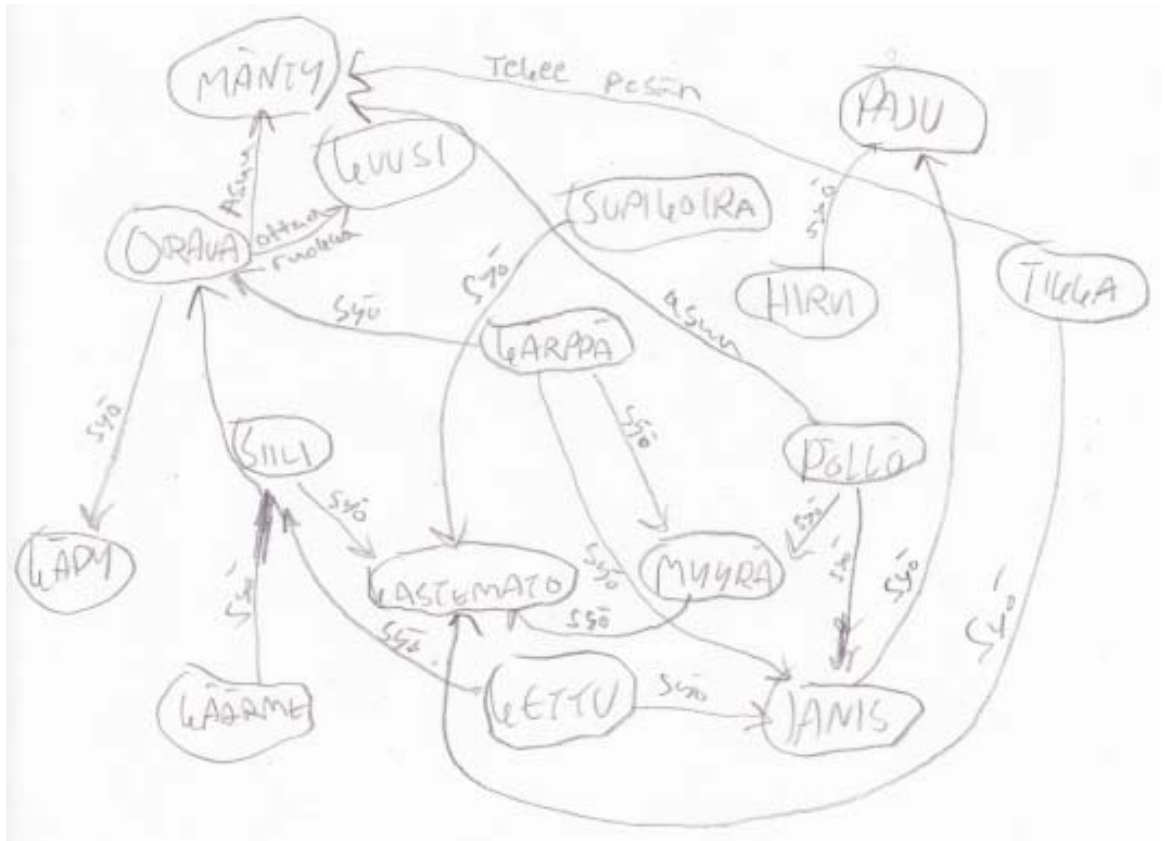
Energia käsitteen ottaminen osaksi biologian opettamista ja oppimista onkin perusteltua. Barak ym. (1997) ovat myös löytäneet yhteyden biologisen ajattelun ja energia käsitteen ymmärryksen väliltä. Oppilaat, joilla oli vähäinen tietämys energiasta, eivät kyenneet rakentamaan tieteellisiä malleja biologisista ilmiöistä, kun taas puolet niistä oppilaista, joille energiaa sisältävät prosessit olivat tärkeitä, ajattelivat tieteellisemmin (Barak ym. 1997). Energia käsitteenä tarjoaakin mahdollisuuden ymmärtää paremmin ekosysteemin rakennetta ja toimintaa.

### **6.3. Miten yhdeksäsluokkalaisten ymmärrys ekosysteemistä kehittyy systeemiajatteluun pyrkivän opetuksen avulla?**

#### **6.3.1. Oppilaiden systeemiajattelun kehittyminen**

Oppilaiden lähtötason huomioiminen opetuksen suunnittelussa ja toteutuksessa sekä mielekkäiden opetusmenetelmien valitseminen tukevat oppilaiden tietorakenteiden kehittymistä. Tutkimus osoitti, että jopa huomattavat systeemitasojen parannukset ovat mahdollisia. Toisaalta systeemiajattelun kehittymisen esteiksi muodostuivat passiivinen tuntityöskentely, keskittymisvaikeudet ja runsaat poissaolot oppitunneilta. Lisäksi puutteelliset metakognitiiviset taidot vaikeuttivat uusien asioiden oppimista.

Parhaimmillaan oppiminen on aktiivista tiedon konstruointia ja johtaa kokonaisymmärryksen syntyyn. Systeemiajattelu kehittyy mm. käsitteiden merkitysten laajentamisen ja tarkentamisen kautta. Esimerkiksi oppilas (4), jolla ei aluksi havaittu lainkaan kokonaiskuvaa ekosysteemistä (systeemiajattelun taso 0) ylsi opetusjakson jälkeen systeemiajattelun neljännelle tasolle. Alkumittauksen käsitekartassaan (kuva 12, s. 35) oppilas kuvasi eliöiden välisiä yhteyksiä niukasti ja ekosysteemin eläimet muodostivat lyhyitä syömisketjuja. Käsitekartasta puuttuivat myös ekosysteemin kannalta tärkeät tuottajat. Opetusjakson jälkeen oppilas kuitenkin pystyi nimeämään käsitekarttaansa (kuva 40) tuottajia ja tarkensi myös kuluttajien lajinimiä, esimerkiksi mato oli tarkentunut kastemadoksi. Lisäksi linkkisanat olivat monipuolisempia ja käsitteet verkottuivat paremmin kokonaisuudeksi.



Kuva 40. Oppilaan (4) lopputilanteen käsittekartassa eliöiden väliset yhteydet ovat lisääntyneet ja käsitteet tarkentuneet. Käsitteverkossa korostuvat käsitteet orava, kastemato ja jänis.

Toisen oppilaan (9) systeemiajattelun kehittyminen tasolta kolme tasolle kahdeksan osoitti, ettei uusien käsitteiden ja merkitysten käyttö uusissa laajemmissa yhteyksissä aina suju ongelmitta. Oppilaan opetusjakson aikaisen vastaukset osoittavat, miten vaikeaa energian kulun ymmärtäminen oli ja miten ymmärrys saattoi jäädä pinnalliseksi yritykseksi selittää ilmiötä. Opetusjakson aikana oppilas (9) kuvasi energian virtausta virheellisesti: *Aluksi kasvit sitovat auringon valoenergiaa itseensä kun ne yhteyttävät. Sitten kuluttaja syö kasvin ja käyttää kasvin sitomaa energiaa omaan kasvuunsa, liikkumiseen, lisääntymiseen. Lopulta hajottaja käyttää kuolleen eläimen ravinnokseen ja saa siitä energiansa ja vapauttaa sen kuollessaan maaperään, josta kasvit saavat sen (9).* Kurssikokeessa oppilaan ymmärrys hajottajista oli korjaantunut: *Hajottajat hajottavat kuolleita eläimiä, kasveja tai jätöksiä ravinnokseen ja vapauttavat taas ravinteet takaisin maaperään kasveille. Ne myös vapauttavat hiilidioksidia takaisin ilmakehään. Tätä kutsutaan maahengitykseksi. (9).* Myöhemmin haastattelussa samaa oppilasta pyydettiin kuvailemaan hajottajia ja energian kulkua, jolloin oppilas palasi virheelliseen käsitykseen:

*Oppilas: Ne on ne on niitä jotka... on tuolla maaperässä olevia bakteereja ja sitten pieneliöitä ja... kun nää kuolee niin se kuluttaa niitten ruumiit ravinnokseen, se hajottaa ne ...sitten se tota vapauttaa ne hajottajat sen energian maaperään takas kasveille, minkä se saa näistä ja kasveista*

*Tutkija: Entäs siinä ravinnossa ollut aine, mitä sille tapahtuu? Hmm... Ootko sitä miettinyt?*

*Oppilas: Niin, ne muuttuu takas hiileks... ja siis no, öljyiks ja... mitä nyt noista tulee... kun kasvit kuolee, sitten se maatuu, niin eiks siitä tule loppujen lopuks... jotain turvetta tai öljyä tai... ...siis se menee...*

Oppilaalle oli kehittynyt opetusjakson aikana oikea käsitys hajottajien toiminnasta, mutta yhdistäessään käsityksen osaksi laajempaa kokonaisuutta, aineiden ja energian kulua, muodostui oppilaalle virheellinen käsitys energian virtauksesta.

### 6.3.2. Opetuksella tuetaan ajattelun kehittymistä

Oppilaiden käsitykset muuttuvat opetuksen aikana vaihteittain, jolloin oppilaalle mahdollisesti muodostuu myös uusia virheellisiä käsityksiä. Ohjaustilanteessa tällaisten kehittyvien tietorakenteiden tueksi tulisikin tarjota korvaavia käsitteitä tai täsmentää käsitteille annettuja merkityksiä. Seuraavaksi tarkastellaan muutamia asioita, joiden huomioiminen opetuksessa mitä todennäköisimmin mahdollistaa entistä helpommin ja paremmin ekosysteemin kokonaiskuvan muodostumisen.

Aloitetaan oppilaille tuttujen ravintoketjujen opetuksesta, jossa voitaisiin tuoda entistä tarkemmin esille ravinnon sisältämän energian ja aineiden kulun suuntaa. Tällöin oppilaat pääsisivät irrottautumaan virheellisestä syömisketjuajatuksesta. Lisäksi oppilaiden kanssa olisi syytä tarkastella ravinnon hajoamisesta eläimen ruuansulatuksessa ja eläinsovlujen sokerin käyttöä ts. soluhengitystä, jotka edesauttaisivat energian ja aineiden muutosten ymmärtämistä: energia käytetään elintoimintoihin ja aine vapautuu mm. hiilidioksidina, vetenä ja ureana. Hajottajien asemaa viimeisinä kuluttajina tulisi korostaa, jotta aineiden syklisten kiertojen ymmärtäminen mahdollistuisi. Hajottajien toiminnan seuraamisen tekisi mielenkiintoiseksi erilaiset mikrokosmokset, esimerkiksi matokomposteilla voitaisiin selkeyttää epäselväksi jäänyttä hajottajien ja kasvien välistä yhteyttä.

Toiseksi kasvien asemaa ekosysteemin hapentuottajina ei tulisi liiaksi korostaa, vaan opetuksessa voitaisiin pyrkiä tarjoamaan oppilaille merkityksellisempiä käsitteitä liittyen kasvien toimintaan. Aluksi voitaisiin etsiä selityksiä sille, että kasvit ovat eläviä eliöitä, jotka tarvitsevat energiaa ja aineita. Seuraavaksi käsiteltäisiin toimintoja, joilla kasvit saavat tarvitsemansa asiat elintoimintoihinsa. Samalla voidaan käydä keskustelua esimerkiksi siitä, mihin kasvit tarvitsevat vettä sekä osoittaa aineiden useat käyttömahdollisuudet. Havainnot johtaisivat lopulta käsitykseen kasvien omavaraisuudesta.

Kolmantena fotosynteesin ja hengityksen mekanismit kannattaisi selittää selkeästi solutasolla, jotta oppilaat voisivat myöhemmin verrata kasvi- ja eläinsovlua ja luokitella eliöt tätä kautta omavaraisiin ja toisenvaraisiin. Opetusta ei kuitenkaan kannattaisi jättää kirjan solukuvien varaan, vaan oppilaille tulisi tarjota mahdollisuuksia tutkia kasvien rakennetta (esim. kukkaa, hedelmää, varren johtojänteitä ja lehtien solukkoa) ja seurata niiden toimintaa suljetuissa astioissa (esim. veden nousua varressa, herneiden itämistä ja hapen vapautumista).

Ekosysteemin ymmärtäminen kokonaisuutena vaatii usean käsitteen merkityksen ymmärtämistä ja oikeiden käsitteiden välisten yhteyksien muodostamista. Lukuisista ekosysteemiä määrittelevistä käsitteistä tulisi opetukseen valita vain muutama, jotka riittäisivät muodostamaan kokonaiskuvan. Lisäksi oppilaan muisti on rajallinen ja hän pysty käsittelemään yhtäaikaaisesti vain muutamia keskeisimpiä käsitteitä. Ekosysteemin kokonaisuutta voitaisiin lähestyä tuottajien ja hajottajien välisten yhteyksien kautta (taulukko 13). Käsitteet fotosynteesi ja soluhengitys muodostavat ekosysteemin toiminnan käännekohdat: aineiden ja energian muutokset. Tuottajat ovat omavaraisia ja hajottajat viimeisen asteen toisenvaraisia kuluttajia.

Taulukko 13. Kokonaisymmärryksen kannalta keskeisimpien käsitteiden (energia, aine, tuottajat, hajottajat, fotosynteesi, soluhengitys, omavarainen ja toisenvarainen) väliset yhteydet muodostavat kokonaiskuvan ekosysteemistä.

	<b>Energian ja aineiden sitominen</b>	<b>Energian ja aineiden vapauttaminen</b>
<b>Tuottajat</b>	Fotosynteesissä, ovat omavaraisia	Soluhengityksessä
<b>Hajottajat</b>	Eivät sido energiaa, ovat toisenvaraisia	Soluhengityksessä ja hajotustoiminnassa

#### 6.4. Tutkimuksen luotettavuus ja tarve jatkotutkimukseen

Tutkimuksessa selvitettiin oppilaiden käsityksiä ekologisesta ilmiöstä, ekosysteemistä. Tutkimusmenetelmiksi valittiin opetustilanteen havainnointi, yksilöhaastattelut ja erilaiset kirjalliset materiaalit. Oppilaiden ymmärrystä tarkasteltiin aidossa vuorovaikutustilanteessa opetusjakson aikana, jolloin ajattelussa tapahtuneet muutokset nähtiin kokonaisvaltaisesti. Tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden määrä oli vähäinen ja saatuja tuloksia ei voida sellaisenaan yleistää koskemaan koko ikäluokkaa. Tutkimuksen tulokset kuitenkin myötäilevät aiempien tutkimusten tuloksia ja ovat tämän takia merkittäviä. Useilla menetelmillä saadut samansuuntaiset tulokset osoittivat oppilaalle muodostuneen ymmärryksen monipuolisesti ja siksi luotettavasti.

Tutkimuksen luotettavuutta olisi mahdollisesti parantanut opetustilanteiden videoiminen, jolloin tutkijan havainnot oppilaiden toiminnasta olisivat tarkentuneet. Samalla olisi pystytty arvioimaan paremmin opetusmenetelmien vaikutusta ymmärryksen syntyyn. Tutkimus on mahdollista toteuttaa kirjallisten tehtävien osalta myös toisella ryhmällä tai samoilla opiskelijoilla myöhemmässä vaiheessa. Itse opetuksen ja haastatteluiden vuorovaikutustilannetta ei kuitenkaan sellaisenaan voida toistaa. Haastattelujen materiaali on tallennettu C-kaseteille ja litteroitu tekstitiedostoksi.

Jatkossa olisi mielenkiintoista palata tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden käsityksiin opintojen edistyessä tai keskittyä tutkimaan hajottajille annettuja merkityksiä. Tutkimalla samoja oppilaita voitaisiin tehdä päätelmiä tietorakenteiden muutoksista mahdollisten lukio-opintojen edetessä. Toisaalta käsitysten ja ajattelun tutkimisessa tulee myös hyväksyä se, että toisen ajattelu jää aina osittain tuntemattomaksi. Mielenkiintoista olisi myös jatkaa tutkimusta erityisesti hajottajien osalta ja etsiä työtapoja, joilla hajottajien toimintaa voitaisiin selkeämmin havainnollistaa. Hajotustoiminnan opetuksessa vietäisiin tällöin päätökseen se, mistä kasvien kanssa aloitetaan: elottoman luonnon sisältämästä vedestä, hiilidioksidista ja ravinteista.

#### Kiitokset

Kiitokset tutkimustani ohjanneille Jari Haimille ja Markku Käpylälle. Kiitos tutkimukseen osallistuneille oppilaille, heidän vanhemmilleen ja koulun henkilökunnalle. Kiitos myös Tiina Nevanpäälle, joka oli mielenkiinnolla mukana tutkimuksen alkuvaiheista asti ja Jaana Jukalle englanninkielen sujuvuuden tarkistamisesta. Tuesta ja kannustuksesta kiitos kotiväelle ja ystäville. Valmista tuli ja tästä jatketaan.



## Kirjallisuus

- Abdullah, A. & Scaife, J. 1997. Using interviews to assess children's understanding of science concepts. *School Science Review* 78: 79-84.
- Abimbola, I. O. & Baba, S. 1996. Misconceptions & alternative conceptions in science textbooks: the role of teachers as filters. *The American Biology Teacher* 58 : 14-19.
- Adeniyi, E. O. 1985. Misconceptions of selected ecological concepts held by some Nigerian students. *Journal of Biological Education* 19: 311-316.
- Anderson, C. W., Sheldon, T. H. & Dubay, J. 1990. The effects of instruction on college nonmajors' conceptions of respiration and photosynthesis. *Journal of Research in Science Teaching* 27: 761-776.
- Ahtee, M. 1991. Työtavat ja luonnontieteiden opetus. Teoksessa: Sahlberg, P. (toim.), *Luonnontieteiden opetuksen työtavoja*, Valtion painatuskeskus, Helsinki, 25-29.
- Ahtee, M., Kankaanrinta, I.-K. & Virtanen, L. 1994. *Luonnontieto koulussa*. Otava, Keuruu, 205 s.
- Ahtee, M. & Sahlberg, P. 1991. Ajattelun kehittäminen. Teoksessa: Sahlberg, P. (toim.), *Luonnontieteiden opetuksen työtavoja*, Valtion painatuskeskus, Helsinki, 39-46.
- Aho, L. 1987. *Lapsi, luonto ja kasvatus*. WSOY, Porvoo, 226 s.
- Aho, L., Havu-Nuutinen, S. & Järvinen, H. 2003. *Opetus, opiskelu ja oppiminen ympäristö- ja luonnontiedossa*. WSOY, Porvoo, 217 s.
- Ahonen, S. 1995. Fenomenografinen tutkimus. Teoksessa: Syrjälä, L., Ahonen, S., Syrjäläinen, E. & Saari, S, *Laadullisen tutkimuksen työtavoja*, Kirjayhtymä Oy, Helsinki, 113-160.
- Ahoranta, V. 2004. *Oppimisen laatu peruskoulun vuosiluokilla 4-6 yleisdidaktiikan näkökulmasta käsittekarttojen ja veeheuristiikkojen avulla tutkittuna*. Joensuun yliopiston kasvatustieteellisiä julkaisuja, 99, 256 s.
- Alparslan, C., Tekkaya, C. & Geban, Ö. 2003. Using the conceptual change instruction to improve learning. *Journal of Biological Education* 37: 133-137.
- Assaraf, O. B-Z. & Orion, N. 2005. Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching* 42: 518-560.
- Ausubel, D. P. & Robinson, F. G. 1971. *School learning – an introduction to educational psychology*. A holt international edition, London, 691 p.
- Barak, J., Gorodetsky, M. & Chipman, D. 1997. Understanding of energy in biology and vitalistic conceptions. *Int. J. Sci. Educ.* 19: 21-30.
- Barak, J., Sheva, B. & Gorodetsky, M. 1999. As 'process' as it can get: students' understanding of biological processes. *Int. J. Sci. Educ.* 21: 1281-1292.
- Barker, M. & Carr, M. 1989a. Photosynthesis – can our pupils see the wood for the trees? *Journal of Biological Education* 23: 41-44.
- Barker, M. & Carr, M. 1989b. Teaching and learning about photosynthesis. Part 1: An assessment in terms of students' prior knowledge. *Int. J. Sci. Educ.* 11: 49-56.
- Barker, M. & Carr, M. 1989c. Teaching and learning about photosynthesis. Part 2: A generative learning strategy. *Int. J. Sci. Educ.* 11: 141-152.
- Bell, B. 1985. Students' ideas about plant nutrition: what are they? *Journal of Biological Education* 19: 213-218.
- Campbell, N. A., Reece, J. B. & Mitchell, L. G. 1999. *Biology*. Benjamin/Cummings, California, 1175 p.
- Cañal, P. 1999. Photosynthesis and 'inverse respiration' in plants: an inevitable misconception? *Int. J. Sci. Educ.* 21: 363-371.
- Carlsson, B. 2002a. Ecological understanding 1: ways of experiencing photosynthesis. *Int. J. Sci. Educ.* 24: 681-699.
- Carlsson, B. 2002b. Ecological understanding 2: transformation – a key to ecological understanding. *Int. J. Sci. Educ.* 24: 701-715.
- Eisen, Y. & Stavy, R. 1988. Students' understanding of photosynthesis. *The American Biology Teacher* 50: 208-212.
- Eisen, Y. & Stavy, R. 1993. How to make the learning of photosynthesis more relevant. *Int. J. Sci. Educ.* 15: 117-125.

- Eloranta, V. 1991. *Käsitekartat evaluaation välineenä – biologian käsitteiden hallinta ala-asteella*. Helsingin yliopisto, Opettajankoulutuslaitos, Tutkimuksia 97, s.77-85.
- Goldring, H. & Osborne, J. 1994. Students' difficulties with energy and related concepts. *Phys. Educ.* 29: 26-32.
- Haila, Y. & Levins, R. 1992. *Ekologian ulottuvuudet*. Vastapaino, Tampere, 345s.
- Hanski, I., Lindström, J., Niemelä, J., Pietiäinen, H. & Ranta, E. 1998. *Ekologia*. WSOY, Juva, 580 s.
- Haslam, F. & Treagust, D. F. 1987. Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument. *Journal of Biological Education* 21: 203-211.
- Heino, J. & Vuento, M. 2007. *Biokemian ja solubiologian perusteet*. WSOY, Helsinki, 349 s.
- Hogan, K. & Fisher-Keller, J. 1996. Representing students' thinking about nutrient cycling in ecosystems: bidimensional coding of a complex topic. *Journal of Research in Science Teaching* 33: 941-970.
- Kalafunja, M. O-saki & Samiroden, W. D. 1990. Children's conceptions of 'living' and 'dead'. *Journal of Biological Education* 24: 199-207.
- Kankkunen, M. 1999. *Opittujen käsitteiden merkityksen ymmärtäminen sekä ajattelun rakenteiden analyysi käsitekarttamenetelmän avulla*. Joensuun yliopiston kasvatustieteellisiä julkaisuja 54, 270 s.
- Kaunismaa, M. & Äikäs, T. 1998. *Kaksi opetusmenetelmää ravintoketju – käsitteen oppimisessa peruskoulun toisella luokalla*. Jyväskylän yliopisto, Opettajankoulutuslaitos, Pro Gradu – tutkielma, 101 s.
- Kinchin, I. M. 2000a. Concept-mapping activities to help students understand photosynthesis – and teachers understand students. *School Science Review* 82: 11-14.
- Kinchin, I. M. 2000b. Concept mapping in biology. *Journal of Biological Education* 34: 61-68.
- Kinchin, I. M. 2000c. Confronting problems presented by photosynthesis. *School Science Review* 81: 69-75.
- Kinchin, I. M. 2000d. Using concept maps to reveal understanding: a two-tier analysis. *School Science Review* 81: 41-46.
- Kinchin, I. M. 2001. If concept mapping is so helpful to learning biology, why aren't we all doing it? *Int. J. Sci. Educ.* 23: 1257-1269.
- Krebs, C. J. 2001. *Ecology – the experimental analysis of distribution and abundance*. Benjamin Cummings, San Francisco, 695 p.
- Kärkkäinen, S. 2004. *Biologiaa oppimassa. Vee-heuristiikka ja käsitekartat kahdeksaluokkalaisten talviprojektissa*. Joensuun yliopiston kasvatustieteellisiä julkaisuja 96, 185 s.
- Larna, R. 1985. *Ekosysteemi-käsitteen opettaminen ja oppiminen kognitiivisen oppimisenäkemyksen valossa peruskoulun seitsemännellä ja kahdeksannella luokalla*. Helsingin yliopisto, Opettajankoulutuslaitos, Sivulaudatur-tutkielma, 68s.
- Lazarowitz, R. & Penso, S. 1992. High school students' difficulties in learning biology concepts. *Journal of Biological Education* 26: 215-223.
- Leach, J., Driver, R., Scott, P. & Wood-Robinson, C. 1995: Children's ideas about ecology 1: theoretical background, design and methodology. *Int. J. Sci. Educ.* 17: 721-732.
- Leach, J., Driver, R., Scott, P. & Wood-Robinson, C. 1996a. Children's ideas about ecology 2: ideas found in children aged 5-16 about the cycling of matter. *Int. J. Sci. Educ.* 18: 19-34.
- Leach, J., Driver, R., Scott, P. & Wood-Robinson, C. 1996b: Children's ideas about ecology 3: ideas found in children aged 5-16 about the interdependency of organism. *Int. J. Sci. Educ.* 18: 129-141.
- Leinonen, J. 2002. Ymmärtäminen – jäsentynyttä tietämistä. *Kasvatus* 5: 475-483.
- Lin, C.-Y. & Hu, R. 2003. Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis, and respiration. *Int. J. Sci. Educ.* 25: 1529-1544.
- Lonka, K. & Lonka, I. 1991. Aktivoivia ja prosessipainotteisia työtapoja. Teoksessa: Lonka, K. & Lonka, I. (toim.), *Aktivoiva opetus – käsikirja aikuisten ja nuorten opettajille*, Kirjayhtymä, Helsinki, 28-45.

- Majamaa, S. & Ollila, K. 1998. *Kuudesluokkalaisten käsityksiä ravintoketjusta ja opettajan arvio luokkansa osaamisesta*. Turun yliopisto, Opettajankoulutuslaitos, Pro gradu –tutkielma, 120s.
- Minkkinen, J. 2008. Oma havainto, lukion solubiologian kurssin ryhmäkeskusteluissa, Jyväskylän Rudolf Steiner –koulussa.
- Nicholls, G. & Ogborn, J. 1993. Dimensions of children's conceptions of energy. *Int. J. Sci. Educ.* 15: 73-81.
- Novak, J. D. 1998. *Learning, creating, and using knowledge: concept maps as facilitative tools in schools and corporations*. Lawrence Erlbaum Associates. (suom. Åhlberg, M. 2002. Tiedon oppiminen, luominen ja käyttö – käsittekartat työvälineinä oppilaitoksissa ja yrityksissä. PS-kustannus, Jyväskylä, 315s.)
- Ojala, J. 1997. *Kirjoittamaton kirja, kirjoitettu kirja ja luonnonkirja. Planetaariset ilmiöt teksteinä ja kuvina peruskoulun ja lukion oppikirjoissa*. Jyväskylän yliopisto, Opettajankoulutuslaitos, Tutkimuksia 63, 108 s.
- Opetushallitus 2004. *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004*. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala, 320 s.
- Palmberg, I. 2005. Biologian opetusmuodot ja työtavat. Teoksessa Eloranta, V., Jeronen, E. & Palmberg, I. (toim.), *Biologia eläväksi – biologian didaktiikka*. PS-kustannus, Jyväskylä, 93-160.
- Raekunnas, M., Tenhunen, A., Holopainen, M., Reinikkala, P., Ryhänen, E.-L., Saarivuori, M. & Sarvilinna, R. 2000. *Luonto-sarjan opettajan materiaali – Toimiva luonto*. WSOY, Vantaa, 240 s.
- Rauste-von Wright, M., von Wright, J. & Soini, T. 2003. *Oppiminen ja koulutus*. WSOY, Porvoo, 262 s.
- Saari, H. 1997. *Mallien käyttö luonnontieteen oppimisessa ja opetuksessa*. Joensuun normaalikoulun julkaisuja 10, 57 s.
- Saarivuori, M., Holopainen, M., Raekunnas, M., Reinikkala, P., Ryhänen, E.-L., Sarvilinna, R. & Tenhunen, A. 2000. *Luonto-sarjan opettajan materiaali – Elämä ja sen monimuotoisuus*. WSOY, Vantaa, 132 s.
- Sahlberg, P. 1991. *Luonnontieteiden opetuksen työtapoja*. Valtion painatuskeskus, Helsinki, 247 s.
- Saloviita, T. 2006. *Yhteistoiminnallinen oppiminen ja osallistava kasvatus*. PS-kustannus, Opetus 2000-sarja, Juva, 200 s.
- Senge, P., Kleiner, A., Roberts, C., Ross, R. & Smith, B. 1996. *The fifth discipline fieldbook – strategies and tools for building a learning organization*. Nicholas Brealey Publishing, London, 593 p.
- Sisula, H. 1980. *Ekologian perusteet*. WSOY, Porvoo, 226 s.
- Songer, C. J. & Mintzes, J. J. 1994. Understanding cellular respiration: an analysis of conceptual change in college biology. *Journal of Research in Science Teaching* 31: 621-637.
- Stavy, R., Eisen, Y. & Yaakobi, D. 1987. How students aged 13-15 understand photosynthesis. *Int. J. Sci. Educ.* 9: 105-115.
- Stavy, R. & Wax, N. 1989. Children's conceptions of plants as living things. *Human Development* 32: 88-94.
- Taber, K. 1989. Energy – by many other names. *School Science Review* 70: 57-62.
- Tirri, R., Lehtonen, J., Lemmetyinen, R., Pihakaski, S. & Portin, P. 2001. *Biologian sanakirja*. Otava, Keuruu, 888 s.
- Tynjälä, P. 1999. *Oppiminen tiedon rakentumisena - konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita*. Kirjayhtymä, Helsinki, 214 s.
- Valkonen, S. 2002. "Tärkeintä kasvin kasvamiselle on, että se kastuu" 2., 4. ja 6. –luokkalaisten käsityksiä kasvien kasvamisesta ja ravitsemuksesta. Jyväskylän yliopisto, Opettajankoulutuslaitos, Pro Gradu –tutkielma, 83 s.
- Vygotski, L. S. 1982. *Ajattelu ja kieli*. Amer-yhtymä Oy, Espoo, 270 s.
- Waheed, T. & Lucas, A. M. 1992. Understanding interrelated topics: photosynthesis at age 14+. *Journal of Biological Education* 26: 193-199.
- Webb, P. & Bolt, G. 1990. Food chain to food web: a natural progression? *Journal of Biological Education* 24: 187-190.

- Åhlberg, M. 1988. Biologian ja maantieteen opettamisen ja oppimisen tutkimisen perusteista. Teoksessa: Meisalo, V. & Sarmavuori, K. (toim.), *Ainedidaktiikan tutkimus ja tulevaisuus II*, Helsingin yliopisto, Opettajankoulutuslaitos, Tutkimuksia 68, 161-186.
- Åhlberg, M. 1990. *Käsitekarttatekniikka ja muut vastaavat graafiset tiedonesittämistekniikat opettajan ja oppilaiden työvälineinä*. Joensuun yliopisto, Kasvatustieteiden tiedekunta, Tutkimuksia 30, 140 s.
- Åhlberg, M. 1991. Käsitekarttatekniikka ja muut vastaavat graafiset tekniikat opettajan ja oppilaiden työvälineinä. *Dimensio* 4: 35-40.
- Åhlberg, M. 1998. Tutkiva opettaja oman teoriansa kehittäjänä ja testaajana. Teoksessa: Ojanen, S. (toim.), *Tutkiva opettaja 2*, Helsingin yliopiston Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus, Tammer-Paino, Tampere, 91-106.
- Åhlberg, M. 2001. Käsitekartat tutkimusmenetelmänä. Teoksessa: Aaltonen, J. & Valli, A. (toim.), *Ikkunoita tutkimusmetodeihin I*, PS-kustannus, Jyväskylä, 59-68.
- Özay, E. & Öztas, H. 2003. Secondary students' interpretations of photosynthesis and plant nutrition. *Journal of Biological Education* 37: 68-70.

## Liite 1. Alkumittauksen väittämät.

Nimi: \_\_\_\_\_

### Ovatko väittämät oikein vai väärin?

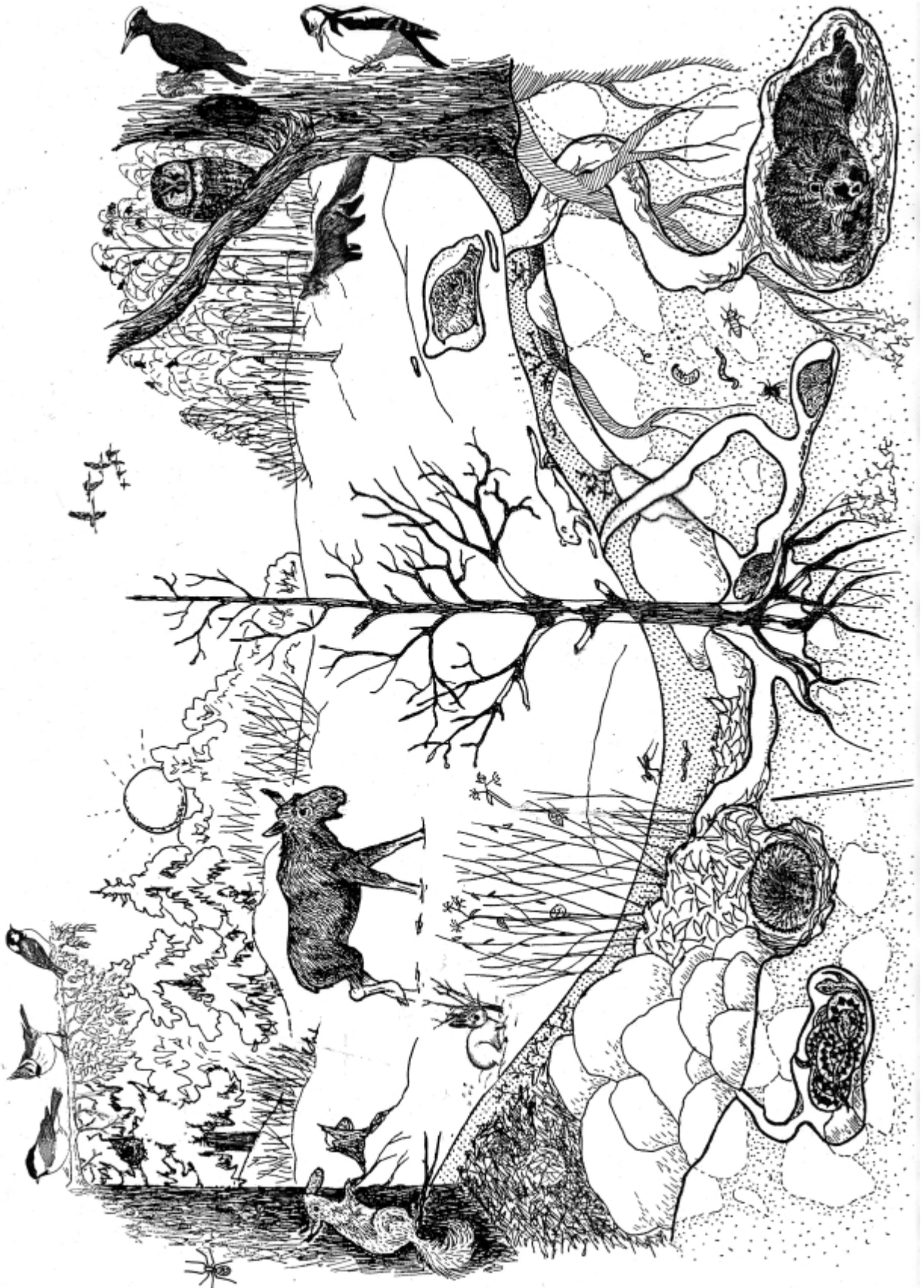
Merkitse O = oikein tai V = väärin.

Perustele jokainen vastauksesi väittämän alapuolelle.

1. Kasvit ovat ekosysteemin tuottajia, sillä ne tuottavat happea. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
2. Ilman kasveja ei olisi eläimiä. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
3. Kasvit yhteyttävät vain päivisin. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
4. Vain eläimet hengittävät ja vapauttavat ilmakehään hiilidioksidia. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
5. Kasvit tarvitsevat kasvuunsa maaperän vettä ja ravinteita. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
6. Tuottajat ovat ravintoketjun alku ja hajottajat ovat ravintoketjun loppu. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
7. Hapen määrä ilmassa lisääntyy päivä päivältä, sillä kasvit vapauttavat sitä jatkuvasti fotosynteesissä. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
8. Jos kuluttajien määrä ekosysteemissä kasvaa suureksi, kasveja käytettäisiin enemmän ravinnoksi, mikä vähentäisi kasvien määrää maapallolla. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
9. Hengityksessä ilmaan vapautuvan hiilidioksidin määrä ei ole tasapainossa kasvien yhteyttämässä sitoman hiilidioksidin määrän kanssa. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

10. Ekosysteemin tuottajien määrä on paljon suurempi kuin kuluttajien määrä. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
11. Hiiltä on ilmassa enemmän kuin maaperässä ja kasvillisuudessa. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
12. Kasvit tarvitsevat happea enemmän kuin hiilidioksidia. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
13. Kasvit ottavat maaperästä sokeria, jota ne käyttävät rakennusaineena ja energiana. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
14. Kasvit tarvitsevat Auringon valoa elääkseen ja kasvaakseen. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
15. Kasveja ei olisi ilman eläimiä, jotka vapauttavat hiilidioksidia ilmaan. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
16. Jos Aurinko sammuisi, häviäisi elämä maapallolta. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
17. Ruoka sisältää elion tarvitsemia rakennusaineita. \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Liite 2. Kuva metsäekosysteemistä.  
(muokattu Raekunnaksen ym. 2000 kuvasta)

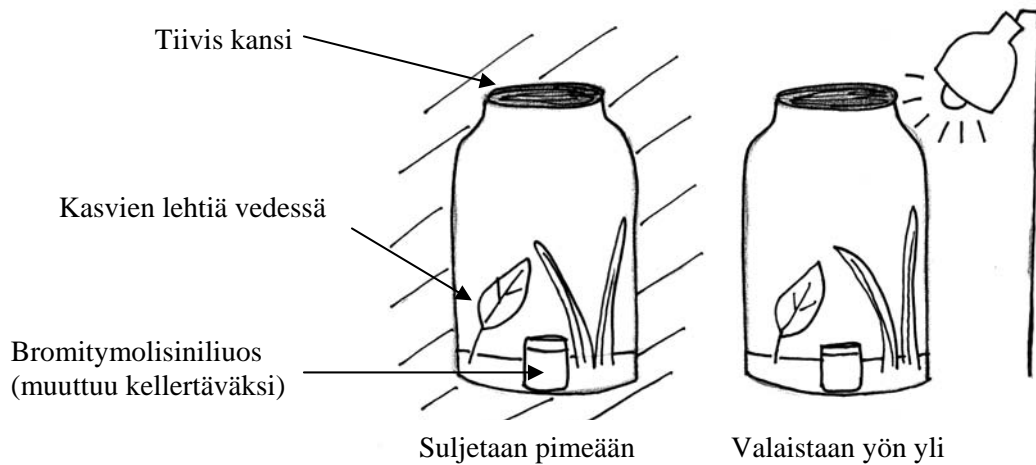


Liite 3. Opetusjaksolla käytettyjen demonstraatioiden tutkimusasetelmat.  
(muokattu Saarivuoren ym. 2000 ohjeista)

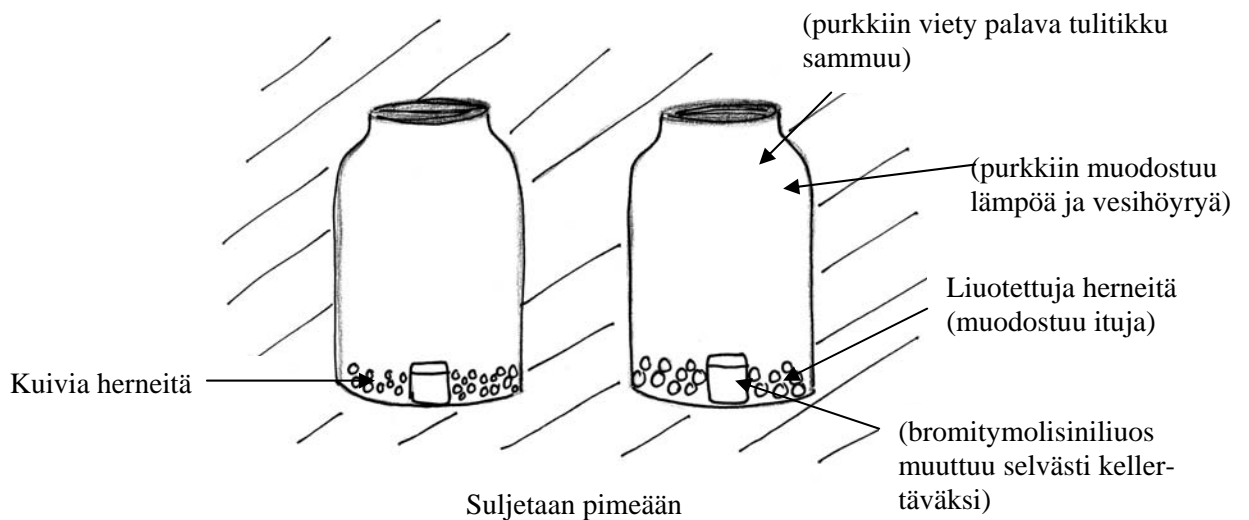
DEMO: Maalajien vedenpidätyskyky.



DEMO: Kasvit pimeässä ja valossa.



DEMO: Herneiden itäminen.



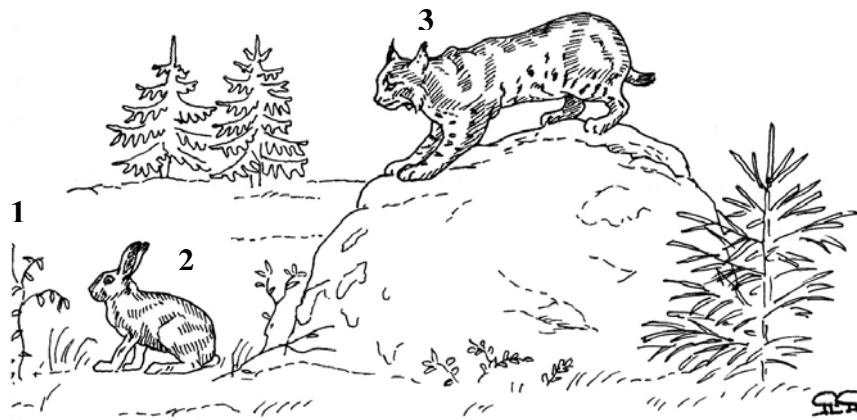
Liite 4. Kurssikokeen tehtävät.

1) Vastaa lyhyesti seuraaviin kysymyksiin.

- a. Mikä merkitys kasveilla on ekosysteemissä?
- b. Miksi kuluttajia sanotaan toisenvaraisiksi?
- c. Mihin hajottajia tarvitaan?

2) Tutki kuvan eliöitä 1-3.

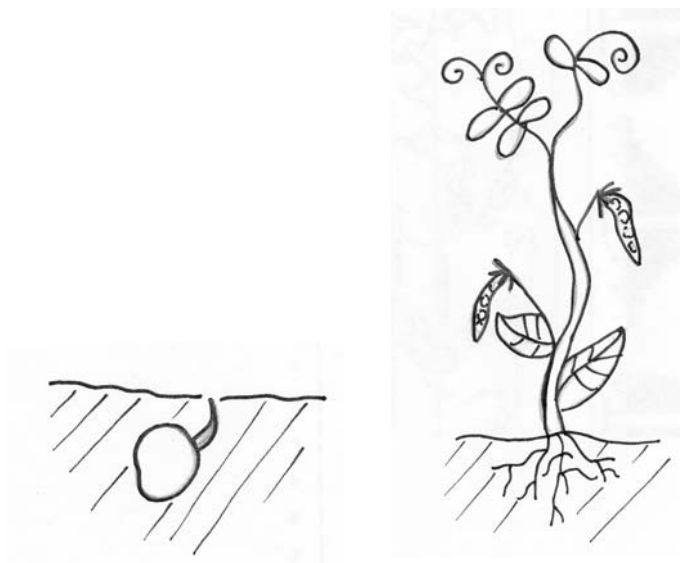
a. Mistä kuvan eliöt ovat saaneet energiansa?



b. Miksi sanotaan, että energia virtaa ekosysteemin läpi?

3) Kuvan kasvi on kasvanut pienestä taimesta isoksi kasviksi.

a. Piirrä ja kirjoita kuvaan, miten kasvi saa kasvamiseen tarvitsemansa aineet.



b. Hengittävätkö kasvit? Jos hengittävät, niin miksi? Jos ei, niin miksi ei?



Liite 5. Haastatteluissa käytetty ekosysteemi kuva.

