

**Pro Gradu –tutkielma**

**Luokanopettajaopiskelijoiden käsityksiä hiilen kierrosta**

**Hanna Svanberg**



**Jyväskylän yliopisto**

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Biologia

20.6.2011

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Biologia

SVANBERG, H. : Luokanopettajaopiskelijoiden käsityksiä hiilen kierrosta

Pro Gradu –tutkielma: 68 s. + 4 liitettä

Työn ohjaajat: KT, FM Tiina Nevanpää, Dos. Jari Haimi

Tarkastajat: FT Ilkka Ratinen, Dos. Jari Haimi

Kesäkuu 2011

---

Hakusanat: hiilen kierto, käsitykset, systeemiajattelu, luokanopettajaopiskelijat

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa selvitettiin, miten luokanopettajaopiskelijat ymmärtävät hiilen kierron ja millaisia virheellisiä käsityksiä heillä on aihetta koskien. Tutkimuksessa tarkasteltiin erityisesti opiskelijoiden kokonaiskäsityksiä ja kykyä muokata tietorakenteitaan lyhyessä ajassa. Tutkimuksen aineisto kerättiin Jyväskylän yliopiston luokanopettajaopiskelijoilta ympäristö- ja luonnontiedon demonstraatiotunnilla keväällä 2006 ja tutkimukseen osallistui 85 luokanopettajaopiskelijaa eri vuosikursseilta. Opiskelijat kirjoittivat ja piirsivät käsityksiään avoimeen lomakkeeseen kahdessa vaiheessa, jotta saataisiin tietoa sekä opiskelijoiden ennakkokäsityksistä hiilen kiertoa koskien että heidän kyvystään hankkia tietoa ja muokata aikasempia käsityksiään uuden tiedon varassa. Vastauksista laskettiin tieteelliset ja virheelliset käsitykset ja muodostettiin hiilen kierron ymmärtämistä kuvaavat systeemiajattelun tasot, joille jokainen vastaaja sijoitettiin kahteen kertaan eri vastausvaiheiden perusteella. Tärkein tutkimustulos oli, että luokanopettajaopiskelijoilla ei pääsääntöisesti ole kokonaiskuvaa hiilen kierrosta. Lisäksi havaittiin, että hiilen kierron osa-alueisiin, kuten fotosynteesiin, soluhengitykseen ja hajotustoimintaan, liittyy monia virheellisiä käsityksiä. Usein opiskelijat eivät myöskään kyenneet muuttamaan käsityksiään tieteellisiksi hankkimalla tietoa aiheesta. Kokonaisuuden ymmärtäminen vaatisi sekä hiilen kierron osien toimintojen yksityiskohtaisempaa hallintaa että osien välisten yhteyksien löytämistä. Kyetäkseen opettamaan hiilen kiertoa ja sen osa-alueita tulisi luokanopettajien perehtyä aiheeseen itsenäisesti ja pyrkiä aktiivisesti jäsentämään tietojaan.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Science

Department of Biological and Environmental Science

Biology

SVANBERG, H.: Teacher students' understanding of carbon cycle

Master of Science Thesis: 68 p. + 4 appendices

Supervisors: Dr, MSc Tiina Nevanpää, PhD Jari Haimi

Inspectors: PhD Ilkka Ratinen, PhD Jari Haimi

June 2011

---

Key Words: carbon cycle, concepts, system thinking, classroom teachers

## **ABSTRACT**

In this study, teacher students' understanding of the carbon cycle and the misconceptions concerning the subject were studied. Emphasis of the study was students' holistic understanding and their ability to modify their knowledge structures in a short period of time. The data was collected at the University of Jyväskylä in spring 2006 and comprised of 85 teacher students' answers to open questions. The students wrote and drew their conceptions in two separate phases in order to give information concerning both their preconceptions and their ability to obtain and adapt to new information. Scientific and false conceptions were then calculated to form eight levels of system thinking regarding the understanding of the carbon cycle. Every student was placed to these levels two separate times based on the two phases of answering. The most important result of the study was that the teacher students do not have a holistic understanding of the carbon cycle. In addition it was observed that certain fields of the carbon cycle such as photosynthesis, cellular respiration and decomposition are associated with several misconceptions. In many cases the students could not change their conceptions to scientific even after obtaining information of the subject. Understanding the big picture would require more detailed knowledge of the different fields of carbon cycle and finding the connections between these fields. In order to teach the subject the teachers should independently get more information and actively organize their knowledge on the matter.

# Sisältö

<b>1 JOHDANTO</b> .....	<b>6</b>
<b>2 KONSTRUKTIVISTINEN OPPIMISKÄSITYS BIOLOGIASSA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Oppiminen luonnontieteissä .....	7
2.1.1 Oppiminen on aktiivista sopeutumista ympäröivään maailmaan .....	7
2.1.1 Oppimisen tavoitteena on käsitteellinen muutos .....	8
2.1.2 Systemiajattelulla pyritään kokonaiskuvan luomiseen .....	10
2.2 Opetus luonnontieteissä.....	10
2.2.1 Konstruktivistisessa pedagogiassa painotetaan oppijan omaa aktiivisuutta. ....	10
2.2.2 Opettajan rooli muodostuu vuorovaikutuksessa oppijan kanssa .....	11
<b>3 HIILEN KIERTO</b> .....	<b>12</b>
3.1 Alkuaineet kiertävät maapallolla.....	12
3.2 Hiili alkuaineena.....	13
3.3 Hiilen kierto.....	14
3.3.1 Hiilen varastot.....	14
3.3.2 Hiilen kierto elokehässä.....	14
3.3.2 Hiilen kierto vesikehässä .....	15
3.3.3 Hiilen kierto kivikehässä .....	16
3.3.4 Hiilen kierto ilmakehässä .....	16
3.4 Ihmisen vaikutus hiilen kiertokulkuun .....	16
3.5 Opiskelijoiden ymmärrys hiilen kierrosta .....	17
3.5.1 Biologian opetuksen tutkimuksessa keskitytään prosessien ymmärtämiseen .....	17
3.5.2 Hiilen kierron hahmottaminen on vaikeaa.....	18
3.5.3 Opiskelijoilla on runsaasti virheellisiä käsityksiä hiilen kierron prosesseista .....	18
<b>4 AINEISTO JA MENETELMÄT</b> .....	<b>20</b>
4.1 Tutkimusaikataulu ja koeasetelma .....	20
4.2 Tutkimuksen kulku.....	20
4.3 Aineiston analysointi ja vastausten luokittelu .....	21
4.3.1 Tieteelliset ja virheelliset käsitykset.....	21
4.3.2 Mallivastaus ja systemiajattelun tasot.....	24
<b>5 TULOKSET</b> .....	<b>26</b>
5.1 Vastauksissa esiintyvät hiilen kiertoon liittyvät tieteelliset käsitykset .....	26
5.1.1 Opiskelijoilla oli runsaasti tieteellisiä käsityksiä hiilen kiertoon liittyen.....	26
5.1.2 Hiileen alkuaineena liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit .....	27
5.1.3 Fotosynteesiin liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit .....	28
5.1.4 Soluhengitykseen liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit .....	28
5.1.5 Ravintoketjuihin liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit .....	29
5.1.6 Hajotustoimintaan liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit .....	30
5.1.7 Aineiden häviämättömyyteen liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit.....	32
5.1.8 Hiilen varastoihin liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit .....	33
5.1.9 Hiilen kiertokulkuun liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit .....	34
5.1.10 Hiileen fossiilisena polttoaineena liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit.....	34
5.1.11 Ilmastonmuutokseen liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit .....	35
5.1.12 Aineiston tieteellisin ja monipuolisin vastaus .....	36
5.2 Vastauksissa esiintyvät hiilen kiertoon liittyvät virheelliset käsitykset .....	36

5.2.1 Suurin osa virhekäsityksistä liittyi fotosynteesiin tai soluhengitykseen .....	36
5.2.2 Fotosynteesiin liittyvien virheellisten käsitysten frekvenssit .....	37
5.2.3 Soluhengitykseen liittyvien virheellisten käsitysten frekvenssit .....	39
5.2.4 Hajotustoimintaan liittyvien virheellisten käsitysten frekvenssit .....	41
5.2.5 Hiilen varastoihin liittyvien virheellisten käsitysten frekvenssit .....	42
5.2.6 Hiilen kiertokulkuun liittyvien virheellisten käsitysten frekvenssit .....	43
5.3 Systeemiajattelun tasot .....	43
5.3.1 Kahdeksan tasoa hiilen kierron ymmärtämiseksi .....	43
5.3.2 Luokanopettajaopiskelijoiden vastausten sijoittuminen systeemiajattelun tasolle.....	47
<b>6 TULOSTEN TARKASTELU .....</b>	<b>48</b>
6.1 Millainen oli luokanopettajaopiskelijoiden ymmärrys hiilen kierrosta? .....	48
6.1.1. Opiskelijoiden kokonaiskuvat hiilen kierrosta .....	48
6.2.2. Ei käsitystä hiilen kierrosta.....	48
6.2.3 Puutteellinen käsitys hiilen kierrosta .....	50
6.2.4 Hyvä käsitys hiilen kierrosta .....	57
6.2.5 Erinomainen käsitys hiilen kierrosta .....	60
6.2 Mitkä olivat yleisimmät hiilen kiertoa koskevat virhekäsitykset? .....	62
6.3 Miten luokanopettajaopiskelijoiden hiilen kiertoa koskeva ajattelu kehittyi lyhyen demonstraation aikana? .....	64
6.4 Tutkimuksen luotettavuus ja tarve jatkotutkimukseen .....	65
<b>KIITOKSET .....</b>	<b>66</b>
<b>KIRJALLISUUS.....</b>	<b>67</b>

## 1 JOHDANTO

Biologialla tieteenalana on dialektinen luonne: kokonaisuus edellyttää osien ymmärtämistä ja päinvastoin. Pelkkä yksittäisten käsitteiden tuntemus johtaa hajanaiseen, toisiinsa sitoutumattomien tiedonpalasten kokonaisuuteen. Tällöin on vaikeaa hahmottaa, miten kokonaisuuden eri osat liittyvät toisiinsa ja miten esimerkiksi yhden osan häviäminen tai toiminnan muutos vaikuttaa kokonaisuuden muihin osiin. Useiden biologisten ilmiöiden kohdalla opiskelijoiden ymmärrys ei vastaa ihannetta, jossa yksittäisten prosessien toimintaperiaatteet ymmärretään, prosessien väliset kytkökset tunnetaan ja kokonaisuudesta muodostuu selkeä käsitys. Ymmärrys on usein vaillinaista eikä eri osaluokkien välisiä yhteyksiä kyetä hahmottamaan. Näin on tilanne esimerkiksi aineiden kiertojen kohdalla.

Tämän tutkimuksen kohteeksi valittiin hiilen kierto, koska hiilen kierto on yksi tärkeimmistä aineiden kierroista. Se kattaa useita biologiaan keskeisesti kuuluvia prosesseja, kuten fotosynteesin ja soluhengityksen, ravintoverkot ja hajotustoiminnan, olomuodonmuutokset sekä ilmastonmuutoksen. Näiden prosessien tunteminen on ensiarvoisen tärkeää voidaksemme ymmärtää paremmin luonnon toimintaa ja luonnossa vaikuttavia mekanismeja. Kierron kokonaisvaltainen ymmärtäminen edellyttää tietoa solu- ja molekyylitasolta ekosysteemitasolle asti. Syklisen ja verkostomaisen luonteensa vuoksi hiilen kierto sopii lisäksi hyvin oppilaiden ja opiskelijoiden ajattelun tutkimiseen, sillä ymmärtääkseen suuria kokonaisuuksia, kuten hiilen kiertokulkua, opiskelijat tarvitsevat tieteellisen tietämyksen lisäksi kognitiivisia ajattelutaitoja (Ebert-May ym. 2004, Assaraf & Orion 2005).

Eri-ikäisten opiskelijoiden biologisten ilmiöiden oppimista ja käsitteiden hallintaa on tutkittu runsaasti sekä Suomessa että ulkomailla. Tutkimusten perusteella hiilen kierron ymmärtämiseen liittyy virhekäsityksiä, joita on vaikea oikaista ja joita esiintyy kaikissa ikäryhmissä. Osa virhekäsityksistä liittyy hiilen kierron eri osa-alueisiin, kuten fotosynteesiin tai hajotustoimintaan (ks. esim. Stavy ym. 1987, Anderson ym. 1990, Songer & Mintzes 1994), kun taas osa käsityksistä kattaa koko kierron (Ebert-May ym. 2003, Ebert-May ym. 2004, Assaraf & Orion 2005).

Voidaan olettaa, että myös opettajaopiskelijoilla on puutteellisia ja virheellisiä käsityksiä hiilen kierrosta. Opettajat toimivat työssään avainasemassa toisaalta virhekäsitysten oikaisijana, mutta toisaalta myös niiden luoja. Mikäli opettajalla itsellään on virheellisiä käsityksiä, on mahdollista, että hän siirtää ne eteenpäin oppilailleen. Opettajan on tästä syystä tiedostettava mahdolliset virhekäsityksensä ja pyrittävä irtautumaan niistä kohti tieteellisesti päteviä teorioita.

Tässä tutkimuksessa pyrittiin selvittämään, miten luokanopettajaopiskelijat ymmärtävät hiilen kierron. Tutkimuksen aineisto kerättiin kahdessa vaiheessa luokanopettajaopiskelijoiden ympäristö- ja luonnontiedon demonstraatiotunnilla. Välineenä käytettiin lomaketta, jossa opettajaopiskelijoita pyydettiin kirjoittamaan ja piirtämään hiileen kiertoon liittyviä käsityksiään. Aihetta ei taustoitettu ennen ensimmäistä vaihetta, vaan opiskelijat vastasivat aikaisempien tietojensa pohjalta. Ennen toista vaihetta opiskelijoille pidettiin lyhyt alustus aiheesta ja heidän annettiin tutustua hiilen kierrosta kertoviiniin internet-sivustoihin. Tämän jälkeen opiskelijoita pyydettiin täydentämään aikaisempia vastauksiaan uuden tiedon pohjalta. Tulokset analysoitiin laadullisesti ja määrällisesti ja ne kuvasivat luokanopettajaopiskelijoiden hiilen kierron tuntemusta, virhekäsityksiä ja tapoja liittää uusi tieto vanhaan. Käsitykset hiilen kierrosta esitettiin systeemijattelun tasoina, jotka määriteltiin kokonaisuuden ymmärtämistä silmällä pitäen. Tutkimuksen pääkysymykset olivat:

1. Miten luokanopettajaopiskelijat ymmärtävät hiilen kierron?
  - Mitä elementtejä hiilen kierrosta vastauksiin on sisällytetty?
  - Mitä virhekäsityksiä vastauksiin mahdollisesti sisältyy?
  - Millä systeemiajattelun tasolla hiilen kierto ymmärretään?
  
2. Miten tietämys hiilen kierrosta muuttui demonstraation ja aineistoon perehtymisen jälkeen?
  - Miten uusi tieto liitettiin vanhaan? Tapahtuiko opiskelijoiden käsityksissä muutosta?

## 2 KONSTRUKTIVISTINEN OPPIMISKÄSITYS BIOLOGIASSA

### 2.1 Oppiminen luonnontieteissä

#### 2.1.1 Oppiminen on aktiivista sopeutumista ympäröivään maailmaan

Oppimiseksi voidaan kutsua kaikkea toimintaa, jonka avulla rakennamme kuvaa siitä fyysisestä ja sosiaalisesta maailmasta, jossa elämme. Oppimisen välityksellä sopeudumme maailmaan ja saamme keinoja maailman ja itsemme muuttamiseksi. Oppimiselle onkin nykykäsityksen mukaan tyypillistä informaation aktiivinen konstruointi passiivisen rekisteröinnin sijaan (Rauste-von Wright ym. 2003).

Oppimisessa voidaan nähdä kolme rakenneosaa: taustatekijät, prosessi ja tuotos. Nämä kolme osaa limittyvät toisiinsa ja niiden ero on tästä syystä jossain määrin keinotekoinen. Taustatekijöillä tarkoitetaan kaikkia niitä asioita, jotka vaikuttavat oppimiseen. Ne voidaan jakaa kahteen pääosaan: oppijaan liittyvät henkilökohtaiset tekijät sekä oppimis- ja opetusympäristöön eli oppimisen kontekstiin liittyvät tekijät. Nämä vaikuttavat oppimiseen välillisesti oppijan havaintojen ja tulkintojen kautta. Esimerkiksi opiskelijan minäkuva ja itsetunto sekä omaksutut opiskelumenetelmät ja -taidot vaikuttavat oppimistuloksiin (Baldwin ym. 1999). Toimintaa, joka kohdistuu omaan oppimiseen ja sen säätelyyn, kutsutaan metakognitiiviseksi toiminnaksi. Oppimisen tuloksena oppija muodostaa oman käsityksensä opiskelluista asioista ja kehittyä erilaisten taitojen hallinnassa. Oppimisen tulokset voivat vaihdella pinnallisesta ulkoa muistamisesta syvälliseen ymmärtämiseen, kykyyn soveltaa tietoja käytännön ongelmien ratkaisuun tai uudenlaiseen tapaan hahmottaa ja käsitteellistää jokin asia (Tynjälä 2002).

Ymmärtämisellä on oppimisessa keskeinen rooli. Faktojen ja yksityiskohtien sijaan tärkeitä ovat tieto- ja taitorakenteet, joihin ne sisältyvät. Voidaan ajatella että ymmärrämme jotakin, kun kykenemme perustelemaan tapaa, jolla käytämme käsitettä ja pystymme luontevasti käyttämään sitä uusissa tilanteissa. Oppijan tulisi tulla tietoiseksi siitä, mitä hän kulloinkin opittavasta asiasta ymmärtää ja osaa tai ei ymmärrä ja ei osaa: Tällöin on mahdollista tavoitteellinen kysymysten asettelu ja järkevä tiedonhaku (Rauste-von Wright ym. 2003).

Uuden oppiminen tapahtuu aina aikaisemman tiedon pohjalta. Olemme muodostaneet arkielämän kokemusten kautta mentaalisia rakenteita, joiden avulla kykenemme toimimaan maailmassa. Myös käsityksemme luonnonilmiöistä, kuten vaikkapa kasvien energiansaannista, perustuvat arkikokemuksillemme. Tällaiset käsitykset ovat useimmiten tiedostamattomia (Tynjälä 2002). Vosniadou (1994) käyttää kokemusperäisten käsitystemme kokonaisuuksista nimitystä viitekehysteoria. Ne ovat ikään kuin käsitystemme taustalla olevia tiedostamattomia oletuksia asioiden luonteesta.

Suurempien viitekehysteorioiden lisäksi muostamme myös spesifejä teorioita, jotka koostuvat yksittäisten ilmiöiden ominaisuuksia koskevista oletuksista tai uskomuksista. Spesifiset teoriat syntyvät viitekehysteorioiden asettamien rajoitusten puitteissa. Vosniadoun (1994) mukaan viitekehysteoriat ja spesifiset teoriat muovautuvat kahdella tavalla, joko rikastamalla tai teorian tarkistamisen ja uudelleen muovaamisen kautta. Rikastaminen tarkoittaa uuden informaation lisäämistä olemassa oleviin käsitteellisiin järjestelmiin, kun taas teorian tarkistaminen edellyttää muutoksia yksilön syvemmissä uskomuksissa tai oletuksissa. Teorioiden tarkistaminen ja uudelleen muovaaminen voi tapahtua joko spesifisten teorioiden tai viitekehysteorioiden tasolla. Uusi tieto joko assimiloituu eli sulautuu vanhaan tietoon tai akkommodoituu eli muokkaa aiempaa tiedonrakennetta. Oppijan rakentama konstruktio on siten aina subjektiivinen.

Mielekäs oppiminen liittyy siis uuden tietoaineksen kiinnittämiseen jo olemassa olevaan tietorakenteeseen. Kyky oppia uutta riippuu merkittävästi olemassa olevan tietopohjan ja uuden hankittavan tiedon välisestä vuorovaikutuksesta. Oppimisen voidaan katsoa olevan prosessi, jossa oppijan käsitteelliset rakenteet muokkautuvat uudelleen niin, että ne pitävät paikkansa yhä laajemman kokemus- ja ideamaailman kanssa (Driver ym. 1994, Saari & Viiri 1998).

### 2.1.1 Oppimisen tavoitteena on käsitteellinen muutos

Käsitteet ja niiden väliset suhteet näyttelevät tärkeää roolia luonnontieteiden oppimisessa ja opetuksessa. Käsitteelliseen muutoksen tähtäävän opetuksen on todettu edistävän merkittävästi tieteellisen ajattelun saavuttamista traditionaaliseen opetukseen verrattuna. Pää tavoitteena on yksittäisten käsitteiden oppimisen sijaan merkityksellisen ja kokonaisvaltaisen luonnontieteellisen maailmankuvan muodostuminen (Aho ym. 2003, Alparslan ym. 2003).

Uskomukset ovat yksilön vakaita käsityksiä asioista, mutta niille ei välttämättä löydy järkeviä perusteluja. Käsitykset taas ovat tietoisia uskomuksia, joilla on ainakin esittäjälleen hyväksytyt ja oikeutetut perustelut. Käsitykset voidaan jakaa arkikäsitteiksi ja tieteellisiin käsitteiksi. Arkikäsitteet syntyvät oppijan henkilökohtaisista kokemuksista, eivätkä ne muodosta yhtenäistä ajatusrakennelmaa. Oppijoiden tieteelliset käsitykset syntyvät ja muuttuvat ajan mittaan ja ne esitetään ja opitaan osana käsitteiden välistä rakennelmaa. Käsitteellinen muutos on jatkuva prosessi, jossa oppija yhdistää ja kehittää arkikäsitteisiinsä toisiinsa liittyvien käsitysten verkoksi. Kun oppija on oppinut miten tietyt käsitteet liittyvät toisistaan riippuviksi hierarkkiseksi systeemeiksi, hänen on helpompi nähdä, miten muut asiaan liittyvät käsitteet sopivat tähän systeemiin (Saari & Viiri 1998, Viiri 2000, Havu-Nuutinen & Järvinen 2002, Tynjälä 2002, Aho ym. 2003).

Ihmisten muodostamat tulkinnat samasta asiasta saattavat vaihdella suurestikin, mutta usein tulkinnoista on mahdollista muodostaa muutamia toisistaan poikkeavia tulkinta- tai käsitysluokkia. Pedagogian kannalta tulkintaluokat voidaan järjestää hierarkkisesti esimerkiksi sen kannalta, kuinka toivottavia ne ovat tai kuinka hyvin ne vastaavat tieteellistä käsitystä. Opetustyössä on tärkeää toisaalta selvittää, millaisia oppijoiden tulkinnat tai käsitykset opetuksen kohteena olevista asioista ovat opetuksen alkaessa ja toisaalta millaisia muutoksia niissä opetuksen kuluessa tapahtuu (Rauste-von Wright ym. 2003).

Luonnontieteissä käsitteille pyritään antamaan tarkka määritelmä, joka auttaa ymmärtämään niiden yhteisen merkityksen mahdollisimman samanlaisena kaikkialla. Käsitteitä käytetään ajattelussa ja asioiden ja ilmiöiden selittämisessä. Siksi opetuksessakin jäädään harvoin pelkästään yhden käsitteen ymmärtämisen tasolle yhdistämättä sitä toisiin käsitteisiin. Tätä tarkoitetaan puhuttaessa opetuksen tavoitteena olevista käsitteiden ja niiden välisten suhteiden ymmärtämisestä. Oppijan käsitevarasto karttuu vuosien varrella



ja samalla käsitteet saavat myös uusia merkityksiä tiedonrakentumisen prosessissa. Kun opiskelutilanteessa pyritään uuden informaation opiskelulla muokkaamaan, syventämään ja rikastuttamaan aikaisempia tiedonrakenteita, puhutaan käsitteelliseen muutokseen tähtäävästä opiskelusta (Havu 2000, Aho ym. 2003).

Käsitteellinen muutos on hitaasti etenevää prosessia, jossa oppija rakentaa uutta ymmärrystä tai muokkaa vanhaa käsitystään opiskeltavasta käsitteestä. Käsitteellisen muutoksen laatuun vaikuttaa se, muuttuuko oppijan tiedonrakenne opiskelun myötä kokonaan uudeksi vai assimiloituuko uusi tieto olemassa olevaan rakenteeseen. Silloin kun tieto ei ole samansuuntainen aiempien tiedonrakenteiden kanssa, syntyy kognitiivnen konflikti. Konflikti voi johtaa oppijan haluun ratkaista ongelma ja sitä kautta käsitteelliseen muutokseen (Aho ym. 2003, Alparslan ym. 2003).

Käsitteellisen muutoksen syntymiseksi oppijan tulisi tulla tietoiseksi omista olemassa olevista käsityksistään. Omien käsitysten näkyväksi tekemistä ja niistä tietoiseksi tulemistä kutsutaan metakäsitteellisen tietoisuuden herättämiseksi. Käsitteellisen muutoksen mahdollistuminen edellyttää kolmen ehdon täyttymistä. Oppijan on ensinnäkin ymmärrettävä, mitä käsite tarkoittaa. Opiskeltavan käsitteen tulee myös olla uskottava, oppijan maailmankuvan kanssa yhteensopiva ja ymmärrettävä. Kolmantena ehtona on opiskeltavan käsitteen hyödyllisyys eli se, että käsite on käyttökelpoinen ja että oppija kykenee sen avulla ratkaisemaan ongelmia ja avartamaan maailmankuvaansa. Käsitteellisen muutoksen onnistumiseen vaikuttavat myös oppijan motivaatio ja opiskeltavien asioiden kiinnostavuus ja merkitys oppijalle. Merkittävä tekijä on myös sosiaalinen kulttuuri ja kommunikaatio oppimistilanteissa (Tynjälä 2002, Aho ym. 2003, Alparslan ym. 2003).

Oppimisen tutkimuksessa on kehitetty monenlaisia keinoja käsitteellisen muutoksen aikaansaamiseksi. Aikaisemman tiedon aktivoinnissa voidaan käyttää esimerkiksi lomakkeita, vapaata kirjoittamista, käsitekarttoja, oppikirjojen tekstejä tai sosiaalista vuorovaikutusta. Varttuneempien oppijoiden käsitteellisten muutosten tutkiminen ja seuraaminen on helpompaa kuin nuorempien, sillä heidän tiedonrakenteensa ovat moniulotteisempia ja niitä voidaan tarkastella abstraktimmalla tasolla. Käsitteellistä oppimista voidaan arvioida käyttämällä esimerkiksi piirroksia, kirjoitelmia ja mielle- ja käsitekarttoja. Käsitteet voidaan koota ennen oppimisjaksoa ja oppimisjakson jälkeen, jolloin voidaan vertailla, millaisia muutoksia tiedonrakenteissa on tapahtunut (Aho ym. 2003, Alparslan ym. 2003).

Vaikka oppilaat omaksuvatkin jollakin tasolla heille opetetun tieteellisen käsityksen, heidän arkikäsitteensä voivat jäädä eloon tieteellisten käsitysten rinnalle tai sekoittua niihin. Tällaisista käsityksistä käytetään usein nimitystä synteettinen malli. Esimerkiksi Mikkilä ja Olkinuora (1995) havaitsivat tutkimuksissaan lasten käsityksistä kasvien ravinnonsaannista, että kukaan lapsista ei halunnut tutkimuksen loppuvaiheessa muuttaa ennen opiskeluaan antamaansa selitystä, vaikka osa olikin välittömästi opiskelujakson jälkeen kyennyt antamaan täysin hyväksyttävän tieteellisen selityksen. Tutkimus osoitti, että lapsilla oli oppimisprosessin päätyttyä kaksi integroitumaton käsitystä kasvien ravinnonsaannista: naiivi ennakkokäsitys sekä enemmän tai vähemmän tieteellinen käsitys yhteyttämisestä.

Radikaalin käsitteellisen muutoksen syntyminen, jossa vanha viitekehysteoria hylätään kokonaan, ei tapahdu helposti. Useimmiten oppiminen on luonteeltaan enemmänkin olemassa olevien viitekehysteorioiden puitteissa tapahtuvaa entisten käsitysten rikastamista. Tällöin esimerkiksi yksittäisten käsitteiden merkitykset tai niiden väliset suhteet voivat muuttua. Oppija voi esimerkiksi muodostaa yhteyksiä sellaisten asioiden välille, jotka hän aikaisemmin on esittänyt toisistaan erillisinä. Yhteydet jäävät kuitenkin helposti yksinkertaisiksi lineaarisiksi syy-seuraus-suhteiksi, mikäli oppijaa ei

tietoisesti ohjata syvällisempään käsitteiden välisten yhteyksien luomiseen (Tynjälä 2002, Grotzer & Bell Basca 2003).

### 2.1.2 Systeemiajattelulla pyritään kokonaiskuvan luomiseen

Laajojen, monimutkaisten ja verkottuneiden systeemien ymmärtäminen vaatii ajattelua, jossa systeemin yksittäisten osien väliset riippuvuussuhteet ja takaisinkytkennät tulevat tiedostetuiksi. Tällöin systeemi ja sen toiminta pitää hahmottaa suurempana kokonaisuutena kuin pelkkänä osiensa summana. Oppimisprosessissa systeemiajattelu tarkoittaa huomion kiinnittämistä systeemin osien välisiin yhteyksiin, jolloin tavoitteena on kokonaiskuvan luominen systeemistä (Senge ym. 1996, Gudovitch & Orion 2001).

Systeemiajattelussa voidaan erottaa tasoja sen mukaan, kuinka kokonaisvaltaista ja kehittyntä opiskelijan ajattelu on. Gudovitch & Orion (2001) määrittivät hiilen kierron oppimista käsittelevän tutkimuksensa pohjalta kolme kriittistä tekijää hiilen kierron systeemiä koskevan kokonaiskuvan luomisessa. Ensinnäkin opiskelijalla tulisi olla käsitys systeemin yksittäisten osien välisistä yhteyksistä, toiseksi opiskelijan tulisi omaksua käsitys aineiden kierrosta maapallolla (aineen häviämättömyys) ja kolmanneksi opiskelijalla tulisi olla oikea käsitys hiilen varastojen koosta ja varastojen välillä tapahtuvan siirtymisen nopeudesta ja määrästä. Carlsson (2002a) taas tutki luokanopettajaopiskelijoiden käsityksiä aineiden kierrosta ekosysteemissä ja luokitteli saamansa vastaukset viiteen kategoriaan. Ensimmäisen kategorian vastauksissa aineita kulutetaan ja toisia aineita tuotetaan itsenäisesti, eikä näiden välillä nähdä yhteyttä. Toisessa kategoriassa aineita kulutetaan ja ne muuttavat olomuotoaan. Kolmannen kategorian vastauksissa on ymmärretty, että aineiden kierrätys on perusehto ekosysteemien toiminnalle. Neljännessä kategoriassa aineiden kierrätyksen mekanismit ymmärretään ja viidennessä kierrätystä osataan tarkastella myös ajallisessa perspektiivissä. Assaraf & Orion (2005) ovat luoneet vastaavan, mutta yleisen ja tarkemman systeemiajattelun tasoja koskevan luokittelun. Opiskelijan tulisi saavuttaa kaikki seuraavat kahdeksan tasoa kyetäkseen systeemiajatteluun eli kokonaiskuvan muodostamiseen tietyistä ilmiöstä (Assaraf & Orion 2005):

1. taso: Kyky tunnistaa systeemin yksittäisiä osia ja prosesseja.
2. taso: Kyky tunnistaa systeemin osien välisiä yhteyksiä.
3. taso: Kyky järjestää systeemin osat ja prosessit järkevaksi hierarkkiseksi verkostoksi.
4. taso: Kyky tehdä yleistyksiä systeemiä koskien.
5. taso: Kyky tunnistaa systeemin dynaamisia vuorovaikutussuhteita.
6. taso: Kyky ymmärtää systeemin näkymättömät ulottuvuudet.
7. taso: Kyky ymmärtää systeemin syklisiä luonnetta.
8. taso: Kyky ajatella systeemiä ajallisesti eli huomioida sen menneisyys ja osata tehdä tulevaisuutta koskevia ennusteita.

## 2.2 Opetus luonnontieteissä

### 2.2.1 Konstruktivistisessa pedagogiassa painotetaan oppijan omaa aktiivisuutta

Luonnontieteiden opetuksessa voidaan erottaa kolme kehitysvaihetta: traditionaalinen, empiristinen ja konstruktivistinen. Traditionaalisessa opetuksessa tärkeintä on tulos eli produkti, ja tietojen pinnallisuus ja ulkoa opittavuus korostuvat. Empiristisessä opetuksessa lähtökohtana ovat konkreettiset, aistein havaittavat ilmiöt. Ympäristö on ensisijainen tiedonlähde, josta tieto hankitaan tekemällä havaintoja. Ongelmana on kuitenkin se, ettei tietoa saada riittävästi havainnoimalla, vaan suurin osa on kuitenkin otettava valmiissa

muodossa kirjoista ja teksteistä. Konstruktivistinen opetus taas lähtee siitä, että oppiminen ei ole vain tiedonpalasten siirtymistä muistivarastoon vaan aktiivinen tapahtuma, jonka aikana oppilas muokkaa tietoa aikaisempien kokemustensa ja muodostamiensa käsitysten pohjalta. Perusideana on, että oppilas ajattelu- ja tietorakenteidensa avulla hahmottaa ja muodostaa omista havainnoistaan, kokemuksistaan ja tiedoistaan uusia käsitteitä. Oppimisen edellytyksenä on omakohtainen ja aktiivinen yritys ymmärtää opetettava asia (Aho 1991, Ahtee ym. 1994).

Konstruktivismiin pohjautuvan pedagogiikan keskeisiä piirteitä ovat muun muassa oppijan aikaisemman tiedon huomioiminen, oppimisen ja ajattelun aktivointi sekä tiedon oppimisen ja käytön kytkeminen toisiinsa. Opetuksen painopiste ei ole tiedon jakamisessa ja kontrolloinnissa, vaan oppilaat haastetaan aktiivisesti käsittelemään sitä. Opitun soveltamista erilaisiin tilanteisiin pyritään edistämään tekemällä ja toimimalla aidoissa ongelmanratkaisutilanteissa (Eteläpelto & Tynjälä 1999). Vastatakseen näihin haasteisiin tulisi opettajilla olla tietoa oppilaidensa luonnontieteitä koskevista käsityksistä ja siitä, millaisia vaikeuksia oppilailla on luonnontieteellisten käsitteiden ja selitysmallien ymmärtämisessä ja omaksumisessa (Ahtee 1992). Kun tällaista tietoa on saatavilla, on opettajan mahdollista muokata ja korjata oppilaidensa käsityksiä kohti luonnontieteellistä maailmankuvaa ja voidaan luoda pohja luonnontieteiden opetuksen kehittämiseksi (Aho 1991, Ahtee 1992).

### 2.2.2 Opettajan rooli muodostuu vuorovaikutuksessa oppijan kanssa

Oppilas rakentaa itse tietonsa, mutta se tapahtuu vuorovaikutuksessa muiden oppilaiden ja opettajan kanssa. Opettaja ja oppilaat osallistuvat tutkittavan aiheen hahmottamiseen ja käyttävät puhetta muodostamaan linkkejä tutkittavien asioiden välille. Opiskeltavaan asiaan liittyvä alkuperäinen rajoittunut ymmärrys kehittyy ja laajenee opettajan ja muiden oppilaiden kanssa käytyjen keskustelujen kautta. Käsitteitä ei voida suoraan siirtää oppilaille, sillä ulkoa opetellessaan oppilas oppii vain sanoja eikä pysty näin soveltamaan omaksumaansa tietoa. Voidaan sanoa, että oppilas on omaksunut jonkin käsitteen, kun hän osaa soveltaa sitä oikein (Saari & Viiri 1998).

Lapset muodostavat käsityksiä luonnonilmiöistä jo ennen kuin niitä käsitellään koulussa. Useat käsitykset juontavat juurensa lasten omista aistikokemuksista, eivätkä ne kaikki ole tiedostettuja. Lapsilla on esimerkiksi paljon implisiittistä tietoa pallon lentoradoista, mikä mahdollistaa pallon heittämisen ja kiinniottamisen peleissä ja leikeissä (Driver ym. 1994). Lapsille on muodostunut monenlaisia käsityksiä myös esimerkiksi yhteyttämiseen liittyen, koska lapset ovat joka päivä tekemisessä aiheeseen liittyvien ilmiöiden kanssa. Joissakin tapauksissa lasten käsitykset ovat yhteneviä tieteellisten selitysten kanssa, mutta useimmiten näiden välillä on merkittäviä eroja. Näitä oppilaiden luonnonilmiöitä koskevia mielikuvia ja uskomuksia kutsutaan ennakkokäsityksiksi. Virhekäsityksiksi taas voidaan kutsua ennakkokäsityksiä, jotka eivät ole yhteneviä tieteellisten selitysten kanssa (Driver ym. 1994, Saari & Viiri 1998).

Oppilaiden käsitteellisten mallien olemassaoloon alettiin kiinnittää huomiota 1970-luvun alussa, jolloin heidän tietämystään testattiin erilaisin tutkimusmenetelmin. Useissa maissa tehdyissä tutkimuksissa havaittiin, että oppilailla on melko pysyviä malleja ja uskomuksia luonnon ilmiöistä. Malleista ja uskomuksista löydettiin myös yleisiä ja yhteisiä piirteitä (ks. esim. Driver ym. 1985, Ahtee 1992, Driver ym. 1994). Kehityspsykologian kehityksen avulla on kyetty tarkemmin ymmärtämään, miten nämä käsitykset muodostuvat ja vaikuttavat lasten elämässä. Tutkimukset ovat osoittaneet, että lasten ajatukset eivät ole vain sattumanvaraisia virhekäsityksiä, vaan ne voivat olla linjassa heidän jokapäiväisten kokemustensa kanssa ja mahdollistaa menestyksekkään toiminnan ympäristössään. Näin ollen käsitykset ovat usein syvään juurtuneita ja vaikeasti

muokattavissa. Tämä asettaa haasteita luonnontiedon opetukselle (Driver ym. 1994, Saari & Viiri 1998).

Luokassa opettajan ja oppilaan käsitykset saattavat poiketa toisistaan siksi, että opettaja pitää opettamaansa asiaa kokonaisuutena, kun taas oppilas ajattelee jokaisen oppitunnin muodostavan oman kokonaisuutensa. Opettajan tärkeänä pitämät seikat saattavat olla oppilaalle sivuseikkoja. Luonnontieteiden opetuksen tavoitteena on, että oppilas muokkaa uudelleen havaintoihinsa perustuvan intuitiivisen tietonsa vastaamaan nykyisin hyväksytyjä tieteellisiä näkemyksiä. Oppilaan on saatava riittävästä todisteista, jotta hän havaitsisi oman teoriansa rajoitukset ja olisi valmis korjaamaan teoriaansa uusien todisteiden mukaisesti (Saari & Viiri 1998). Opettajan on siis oltava selvillä oppilaidensa tiedoista ja ennakkokäsityksistä opetettavassa asiassa, jotta hän osaa opetuksessaan kiinnittää huomiota oppilaiden kannalta oleellisiin asioihin. Jos opetuksessa tulee esiin vieras asia, josta oppilaalla ei ole kokemuksia tai jonka käsittelemiseksi hänen ajattelurakenteensa eivät ole kyllin kehittyneet, oppilaalle jää ainoaksi keinoksi opetella asia ulkoa. Oppilas innostuu riittävän vaateliaista tehtävistä vain silloin, kun hän kokee ne kiinnostaviksi ja merkityksellisiksi. Merkityksen rakentumisen edellytyksenä on kuitenkin, että oppilaan senhetkinen ymmärrys ja uusi opiskeltava asia kohtaavat (Aho 2003).

Kun mietitään pedagogisia ratkaisuja, opettaja joutuu pohtimaan, miten opetus nivoutuu oppilaiden senhetkiseen kehitykseen, seuraileeko opetus kehitystä vai viekö se sitä eteenpäin. Kun oppilas tiedostaa oman ymmärryksensä asiasta ja mahdolliset ristiriidat aiempaan tietoon nähden, hän tarttuu opiskeluprosessiin aktiivisesti, haluaa ratkaista ristiriidat ja on muutoinkin utelias ja kiinnostunut oppimaan uutta. Tällainen toiminta on lapsikeskeistä. Oppilas on subjekti, ei objekti, vaikka opettaja huolehtii opetuksen pedagogisista ratkaisuista. Tällöin mahdollistuu opetussuunnitelman mukainen hierarkkisesti etenevä opetus, jossa opiskelun kohteena olevat asiat nivoutuvat toisiinsa ja käsitteiden hierarkkinen jäsentyminen mahdollistuu (Aho 2003).

### **3 HIILEN KIERTO**

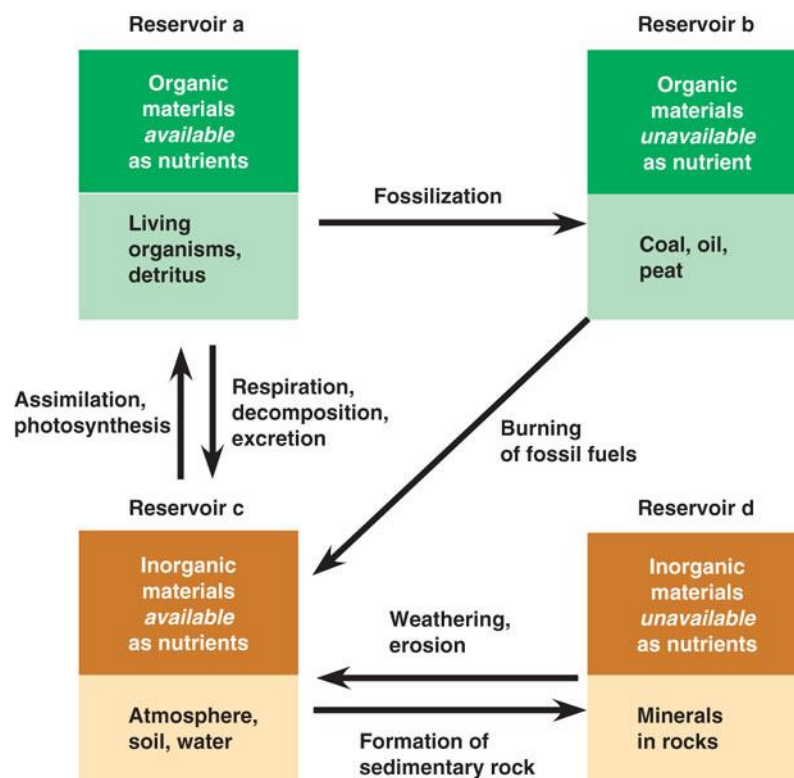
#### **3.1 Alkuaineet kiertävät maapallolla**

Ekosysteemien toiminta perustuu Auringon säteilyenergiaan ja alkuaineiden kierrätykseen. Maapallolle tulee jatkuvasti lisää Auringosta peräisin olevaa energiaa, mutta alkuaineita on olemassa vain rajallinen määrä. Tämän vuoksi aineet kiertävät jatkuvasti elollisen ja elottoman luonnon välillä siirtyen ympäristöstä ravintoverkkoihin palautuakseen edelleen takaisin ympäristöön. Tästä suljetusta virtauksesta käytetään nimitystä biogeokemiallinen kierto, sillä alkuaineet esiintyvät siinä sekä abiottisessa että biottisessa muodossa. Maapallolla toimii jatkuvasti kymmeniä biogeokemiallisia kiertoja, jotka mahdollistavat elämälle välttämättömien aineiden riittävyyden (Kennedy 1997, Chiras 2001, Campbell & Reece 2005).

Alkuaineiden reitti biogeokemiallisten kiertojen läpi vaihtelee alkuaineesta ja ekosysteemin trofiarakenteesta riippuen. Kierrot voidaan kuitenkin jakaa globaaleihin ja paikallisiin kiertoihin. Globaaleissa kierroissa alkuaine esiintyy yleensä jossain vaiheessa kiertoa kaasumaisessa olomuodossa, kuten hiili hiilidioksidina. Paikallisissa kierroissa, kuten fosforin, kaliumin ja kalsiumin kierroissa, alkuaine liikkuu vain pienellä alueella maaperän toimiessa alkuaineiden päävarastona (Campbell & Reece 2005).

Alkuaine voi esiintyä joko orgaanisessa tai epäorgaanisessa muodossa. Lisäksi alkuaineet voivat esiintyä organismeille käyttökelpoisessa muodossa tai muodossa, jossa organismit eivät pysty niitä suoraan käyttämään. Elävien organismien ja detrituksen

sisältämät alkuaineet ovat sellaisenaan toisten organismien käytettävissä joko herbivorian, karnivorian tai hajotustoiminnan kautta. Osa orgaanisesta aineksesta on muuttunut aikojen kuluessa fossiiliseksi orgaaniseksi ainekseksi kuolleiden eliöiden sedimentoiduttua. Tällaista fossiilista orgaanista ainesta ovat esimerkiksi kivihiili, öljy ja turve, jotka eivät ole suoraan organismien käytettävissä. Ne voivat kuitenkin muuttua palamisen yhteydessä epäorgaanisiksi yhdisteiksi ja vapautua ilmakehään. Ilmakehässä ja maaperässä esiintyvät tai veteen liuenneet epäorgaaniset aineet ovat suoraan eliöiden käytettävissä perustuottajien kautta, ja ne palautuvat takaisin ympäristöönsä soluhengityksen tai erityis- ja hajotustoiminnan myötä. Kiviin sitoutuneet epäorgaaniset aineet taas eivät ole suoraan hyödynnettävissä, mutta nekin voivat vapautua käytettäväksi esimerkiksi eroosion kautta (Chiras 2001, Campbell & Reece 2005) (kuva 1).



Kuva 1. Alkuaineiden kierron yleinen malli (Campbell & Reece 2005).

### 3.2 Hiili alkuaineena

Kaikki elolliset eliöt sisältävät hiiltä (C), joka on vedyn ja hapen ohella yleisin elollisen luonnon alkuaineista. Hiiliatomit liittyvät toisiinsa muodostaen pitkiä ketjuja, joihin muut alkuaineet, kuten vety, happi, typpi, rikki ja fosfori, voivat kiinnittyä. Tällöin muodostuu hiilyhdisteitä, joita ovat esimerkiksi hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat sekä hiilivedyt. Hiiltä esiintyy orgaanisten yhdisteiden lisäksi myös epäorgaanisissa yhdisteissä, joita ovat esimerkiksi häkä (CO) ja hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>), sekä erilaisina epäorgaanisina kide- ja molekyyliamuotoina, kuten maaperän kiviaineskerrostumien karbonaateina. Kaikkiaan hiilen yhdisteitä tunnetaan lähes 10 miljoonaa (Aspholm ym. 2001, Suomen Metsäyhdistys ry).

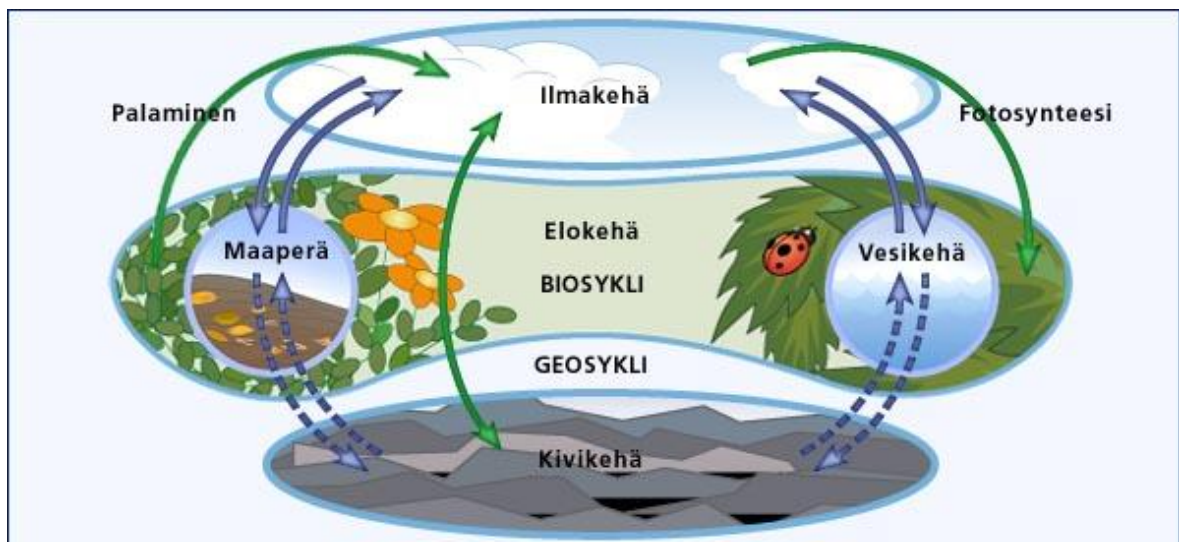
### 3.3 Hiilen kierto

#### 3.3.1 Hiilen varastot

Hiilen kierto on tyypin kierron ohella tärkein ekosysteemien toimintaan vaikuttavista biogeokemiallisista kierroista, sillä hiili toimii kaikille organismeille elintärkeiden molekyylien runkona. Hiilen kierrolla tarkoitetaan hiilen siirtymistä sen eri varastojen välillä ilma-, elo-, vesi- ja kivikehässä. Siirtyminen tapahtuu erilaisten kemiallisten, fysikaalisten, geologisten ja biologisten prosessien kautta (Kennedy 1997, Aspholm ym. 2001, Chiras 2001, Campbell & Reece 2005).

Maapallon hiilivarastot voidaan jakaa neljään suureen osastoon: valtameriin, ilmakehään, terrestriseen biomassaan ja fossiilisiin esiintymiin. Terrestrinen varasto voidaan vielä jakaa maaperään ja kasveihin. Hiilen kierto on riippuvainen toisaalta varastoissa olevan hiilen määrästä ja toisaalta varastojen välillä tapahtuvasta virtauksesta. Hiilen kiertoa tapahtuu myös varastojen sisällä, joskin tämä virtaus on hyvin hidasta. Suurimmat hiilen varastot ovat merissä ( $38\,000 \times 10^{15}\text{g}$ ), joita seuraa maaperään ja kasvibiomassaan sitoutunut hiili ( $2060 \times 10^{15}\text{g}$ ). Ilmakehässä hiili on etupäässä hiilidioksidina ja metaanina, ja sitä on vähemmän kuin 1% koko maapallon hiilivarastoista ( $720 \times 10^{15}\text{g}$ ). Fossiilisten esiintymien hiilen määräksi arvioidaan noin  $4000 \times 10^{15}\text{g}$  (Ricklefs&Miller 2000, Beedlow ym. 2004, Campbell & Reece 2005).

Hiilen varastot ovat hyvin eri-ikäisiä. Toisissa varastoissa hiilen kierto on nopeaa, kun taas toisissa hiili voi viipyä jopa miljoonia vuosia. Jo yksin elokehään varastoituneen hiilen kiertokulku vaihtelee päivistä tuhansiin vuosiin: Primaarituotanto noudattelee vuorokaudenaikais- ja vuodenaikaiskiertoa, kun taas puissa hiili voi olla varastoituneena vuosisatoja ja maaperässä jopa tuhansia vuosia. Hiilen kierto voidaan jakaa sen keston perusteella nopeaan biosykliin ja hitaaseen geosykliin (Campbell & Reece 2005, Suomen Metsäyhdistys ry) (Kuva 2).



Kuva 2. Hiilen kierto (Suomen metsäyhdistys ry 2007).

#### 3.3.2 Hiilen kierto elokehässä

Ekosysteemien kannalta hiilen varastoista tärkein on ilmakehän hiilidioksidi, jota kasvit ja muut yhteyttävät organismit hyödyntävät fotosynteesissä. Fotosynteesissä ilmakehän hiilidioksidista muokataan hiilihydraatteja ja samalla vapautuu happea ( $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow$

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2$ ). Hiilen kiertonopeus ilmakehän hiilidioksidista hiilihydraateiksi on nopeinta vielä kasvuvaiheessa olevissa metsissä ja merissä. Korkeilla leveysasteilla ja kuivilla alueilla taas primaarituotanto ja hajotustoiminta ovat vähäisempiä ja hitaampia kuin trooppisissa, jolloin myös hiilen kiertonopeus hidastuu (Beedlow ym. 2004, Campbell & Reece 2005, Bala ym. 2007).

Kasvien tuottamat hiiliyhdisteet kulkeutuvat edelleen ravintoverkon läpi, kun ensimmäisen asteen kuluttajat hyödyntävät kasveja ravintonaan ja toisen asteen kuluttajat taas ensimmäisen asteen kuluttajia jne. Ravintoverkoista hiili siirtyy maaperään tai ilmakehään hajottajien pilkkoessa kuollutta orgaanista ainesta. Hajotusprosessissa kuollut orgaaninen materiaali muuntuu yksinkertaisimmiksi yhdisteiksi. Tapahtumassa vapautuu energiaa ja epäorgaanisia yhdisteitä, joita kasvit ja mikrobit kykenevät hyödyntämään. Hajotus koostuu kahdesta samanaikaisesta tapahtumasta: mineralisaatiosta ja humifikaatiosta. Mineralisaatiossa hajotettavan orgaanisen aineen sisältämät alkuaineet muutetaan epäorgaaniseen muotoon. Humifikaatiossa orgaaniset molekyylit yhdistyvät puolestaan hitaasti hajoaviksi orgaanisiksi polymeereiksi, joita kutsutaan humusaineiksi. Hajotustoiminta on ennen kaikkea biologinen prosessi - valtaosa ravinteiden mineralisaatiosta tapahtuu mikrobien, kuten bakteerien ja sienten toiminnassa. Maaperästä hiili voi siirtyä takaisin ravintoverkkoihin tai sedimentoitua (Lavelle & Spain 2001).

Eliöiden soluhengityksessä hiiltä vapautuu ilmakehään suurinpiirtein saman verran, mitä kasvit ottavat hiilidioksidin muodossa fotosynteesiään varten. Aerobisessa soluhengityksessä hapen läsnäollessa glukoosia pilkkoutuu ja samalla ympäristöön vapautuu hiilidioksidia ( $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$ ). Anaerobisissa olosuhteissa soluhengityksessä syntyy hiilidioksidin sijaan metaania. Metaania vapautuu ympäristöön esimerkiksi soilta, riisiviljelmiltä ja karjan ruoansulatuselimistöistä (Beedlow ym. 2004, Campbell & Reece 2005, Bala ym. 2007).

### 3.3.2 Hiilen kierto vesikehässä

Vesissä, joista merkityksellisimpiä ovat meret, hiilen kiertoon vaikuttavat ennen kaikkea pintaveden lämpötilat, merivirrat ja biologiset prosessit, kuten fotosynteesi ja soluhengitys (Campbell & Reece 2005).

Merien kyky sitoa hiilidioksidia liittyy biogeenisten karbonaattien toimintaan vedessä. Veteen liuetessaan hiilidioksidi muodostaa hiilihappoa ( $CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$ ), jolla on tärkeä merkitys pH-tasapainon säätelijänä. Hiilihappo hajoaa edelleen bikarbonaatti- ja karbonaatti-ioneiksi. Kalsium voi reagoida syntyvien ionien kanssa muodostaen kalsiumkarbonaattia ( $CaCO_3$ ), mikäli veden hiilidioksidipitoisuus laskee yhteyttämisen seurauksena. Kalsiumkarbonaatilla on alhainen liukoisuus, joten se laskeutuu nopeasti (Ricklefs&Miller 2000).

Valtameret toimivat hiilinieluina, sillä ne sitovat enemmän hiiltä ilmakehästä kuin vapauttavat sitä takaisin. Hiilen siirtyminen ilman ja veden rajapinnassa johtuu fysikaalisista ja biologisista prosesseista. Tuulet tasoittavat pintaveden hiilidioksidipitoisuuksia, mutta yhteyttämistuotteiden siirtyminen alempiin kerroksiin vähentää pintavesien hiilidioksidikonsentraatiota. Virtaukset, syvyys- ja lämpötilaerot vaikuttavat hiilidioksidin siirtymiseen ilman ja veden rajapinnassa. Korkeilla leveyspiireillä hiiltä siirtyy veteen enemmän, sillä hiilidioksidi liukenee helpommin kylmään veteen. Merien pintavesi kylmenee siirryttäessä kohti napoja, jolloin siihen voi liueta enemmän ilmakehän hiilidioksidia. Pintaveden lämmitessä tapahtuu päinvastainen reaktio: Veteen liuennut hiilidioksidi vapautuu takaisin ilmakehään. Termohaliinisten kiertojen seurauksena hiilidioksidipitoisuus, kylmä ja raskas merivesi painuu napojen lähellä edelleen kohti pohjaa (Ricklefs&Miller 2000, Aspholm ym. 2001, Campbell & Reece 2005).

Merien pintakerroksissa organismit muuttavat ilmakehästä liuenneen hiilen kudoksikseen tai koviksi kehonosikseen. Organismien kuoltua ne alkavat hitaasti vajota, jolloin niiden hajotus tapahtuu alemmissa kerroksissa kuin mitä ne muodostuivat. Näin merissä syntyy hiilen alaspäin suuntautuva virtaus (Campbell & Reece 2005).

### 3.3.3 Hiilen kierto kivikehässä

Silikaattikivien rapautumisen seurauksena voi muodostua kalkkikiveä. Kun hiilihappo reagoi rapautuneen kiven kanssa, muodostuu bikarbonaatti-ioneja. Bikarbonaatti-ionit siirtyvät edelleen meriin, joissa ne voivat yhdistyä kalsiumin kanssa. Tällöin muodostuu kalsiumkarbonaattia eli kalkkikiveä ( $\text{CaCO}_3$ ), joka painuu meren pohjaan. Kalsium on peräisin kalsium-silikaattikivien rapautumisesta, jossa pii reagoi hapen kanssa muodostaen hiekkaa ja jättäen kalsiumin vapaaksi. Rapautuminen ei kuitenkaan siirrä hiiltä varastoon, josta se voisi nopeasti siirtyä ilmakehään (Chiras 2001).

Hyvin pitkällä aikavälillä tulivuorenpurkaukset ovat huomattava ilmakehän hiilidioksidin lähde. Tulivuorenpurkauksissa vapautuu kuitenkin suurinpiirtein sama määrä hiilidioksidia, kuin mitä silikaattikivien rapautumisessa sitoutuu. Niinpä nämä vastakkaiset kemialliset tapahtumat kumoavat toistensa vaikutukset, eivätkä vaikuta ilmakehän hiilidioksiditasapainoon alle 100 000 vuoden tarkastelujaksoilla. Fossiilisten, hiiltä sisältävien polttoaineiden, kuten hiilen, öljyn ja maakaasun sekä puun poltossa ilmakehään vapautuu nykyisin kuitenkin merkittävästi enemmän hiilidioksidia kuin koskaan ennen maapallon historiassa. Hiilidioksidia vapautuu merkittäviä määriä myös sementin tuotannossa, jossa kalkkikivestä tuotetaan lämmittämällä kalkkia eli kalsiumoksidia, joka on yksi sementin raaka-aineista (Chiras 2001, Beedlow ym. 2004, Campbell & Reece 2005).

### 3.3.4 Hiilen kierto ilmakehässä

Ilmakehä yhdistää muut kehät hiilen kierrossa. Hiili on ilmakehässä etupäässä hiilidioksidina, jota kasvit ja muut yhteyttävät organismit käyttävät fotosynteesissään. Fotosynteesin kautta elokehään sitoutunut hiili palautuu ilmakehään kasvien, eläinten ja hajottajien soluhengityksen kautta. Vesikehään ilmakehän hiilidioksidi siirtyy liukenemalla, mutta reaktio voi tapahtua myös toisinpäin, jolloin vedestä siirtyy hiiltä ilmakehään. Kivikehästä hiili siirtyy ilmakehään tulivuorenpurkausten ja nykyisin etenkin fossiilisten polttoaineiden polton myötä. Kaasumaisen olomuotonsa vuoksi ilmakehän hiilidioksidi voi siirtyä vapaasti tuulten mukana, minkä seurauksena ilmakehän hiilidioksidipitoisuudet voivat vaihdella alueittain (Kennedy 1997, Chiras 2001, Beedlow ym. 2004, Campbell & Reece 2005, Bala ym. 2007).

## 3.4 Ihmisen vaikutus hiilen kiertokulkuun

Ilmastonmuutos on tärkeimpiä globaaleja ongelmiamme. Sillä tarkoitetaan yleisesti ihmisen toiminnasta johtuvaa, ilmakehän lisääntyvästä kasvihuonekaasupitoisuudesta aiheutuvaa globaalia ilmaston lämpenemistä. Maapallon keskilämpötila on noussut ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden lisääntymisen vuoksi, sillä hiilidioksidi pidättää maanpinnan heijastamaa lämpösäteilyä ja ohjaa sen takaisin maahan. Ilmakehässä esiintyy myös kahta muuta hiiltä sisältävää kaasua, metaania ja antropogeenistä alkuperää olevia kloorifluorihiihiyhdisteitä, joiden pitoisuudet ovat nousseet ihmisen toiminnan seurauksena. Metaani ja kloorifluorihiihiyhdisteet toimivat hiilidioksidin tavoin kasvihuonekaasuna nostaen maapallon keskilämpötilaa. Ilmastonlämpenemisellä taas on moniulotteisia vaikutuksia, kuten toisaalta kuivuuden ja toisaalta sateiden alueellinen lisääntyminen, jäätiköiden sulaminen, merenpinnan nousu ja lajien häviäminen (Chiras 2001, Beedlow



ym. 2004). Ymmärtääksemme ilmastonmuutosta meidän on ymmärrettävä ihmisen toiminnan aiheuttamat muutokset hiilen kiertossa.

Ennen kuin ihminen alkoi hyödyntää merkittävässä määrin fossiilisia esiintymiä, niihin varastoitunut hiili ei juurikaan osallistunut hiilen kiertoon ajoittaisia tulivuorenpurkauksia lukuunottamatta. Hiilen kierto tapahtui merien, ilmakehän ja terrestristen ekosysteemien välillä, ja niiden kolmen hiilen varaston koot pysyivät suunnilleen vakioina. Fossiilisten polttoaineiden käyttöönotto on tuonut fossiilisiin polttoaineisiin sitoutuneen hiilen osaksi globaalia hiilen kiertoa ja lisännyt ilmakehän hiilidioksidin määrää. Tällä hetkellä ilmakehään siirtyy noin seitsemän miljardia tonnia ylimääräistä hiilidioksidia, josta kolme neljänestä on seurausta fossiilisten polttoaineiden käytöstä. Yksi neljännes johtuu metsien hävittämisestä, minkä seurauksena kasvien sitoma hiilidioksidi vapautuu ilmakehään, maapallon hiilidioksidia absorboiva kasvipinta-ala pienenee ja evapotranspiraatio vähenee etenkin tropiikissa (Kennedy 1997, Chiras 2001, Beedlow ym. 2004, Campbell & Reece 2005, Bala ym. 2007). Nämä kaksi ihmisen aikaansaannosta vastaavat pitkälti modernin, globaalin hiilen kierron epätasapainosta (Ricklefs&Miller 2000).

Mihin ilmakehään joutunut ylimääräinen hiili sitten menee? Se ei ehdi siirtyä takaisin fossiiliseen alkuperäänsä merkittäväällä nopeudella, joten sen on siirryttävä johonkin kolmesta muusta varastostaan. Globaalilla hiilibudjetilla mitataan hiilen vaihtotasapainoa joko koko hiilen kierron tai jonkin sen osa-alueen sisällä. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on muuttunut ajan myötä ja siinä tapahtuu muutoksia myös lyhyemmällä aikavälillä, mikä muuttaa globaalia ilmastoa ja ekosysteemejä. Fossiilisten polttoaineiden käyttö on aiheuttanut osan ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden noususta, mutta vain noin puolet ilmakehään joutuneesta fossiilisten polttoaineiden polttamisessa vapautuneesta hiilidioksidista jää sinne pysyvästi. Vajaa kolmannes sitoutuu meriin, mutta viimeisen viidenneksen kohtaloa ei tällä hetkellä tiedetä (Ricklefs&Miller 2000, Krebs 2001).

Globaalia hiilibudjettia ei siis osata vielä tasapainottaa ja esimerkiksi kasvillisuuden rooli toisaalta hiilidioksidin tuottajana ja toisaalta sen kuluttajana on epäselvää. Tutkijat ovat yrittäneet selvittää, lisääkö ilmakehän kohonnut hiilidioksidipitoisuus kasvien fotosynteesiaktiivisuutta. Tällöin ne saattaisivat kyetä sitomaan enemmän hiiltä biomassansa ja näin toimia hiilinieluina. Tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että fotosynteesin tehokkuus kasvaa vain tilapäisesti, minkä jälkeen ravinteiden puute alkaa rajoittaa kasvua. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden noususta johtuva lämpötilan kohoaminen ei sekään nopeuta hiilen sitoutumista biomassaan, sillä lämpimässä ilmassa myös hengitys tehostuu ja joillakin seuduilla pilvisuus lisääntyy (Ricklefs&Miller 2000, Krebs 2001).

Kokonaiskuvan muodostaminen hiilen globaalista kierrosta on tämänhetkisen ekologisen tutkimuksen tärkeimpiä tavoitteita. Tutkijoiden haasteena on myös selvittää, miten ilmakehä, meret ja terrestriiset ekosysteemit reagoivat kohonneisiin hiilidioksidipitoisuuksiin.

### **3.5 Opiskelijoiden ymmärrys hiilen kierrosta**

#### **3.5.1 Biologian opetuksen tutkimuksessa keskitytään prosessien ymmärtämiseen**

Eri ikäisten opiskelijoiden biologisiin ilmiöihin liittyviä käsityksiä ja oppimista on tutkittu runsaasti niin Suomessa kuin ulkomaillakin (ks. mm. Stavy ym. 1987, Songer & Mintzes 1994, Leach ym. 1996a, b, c, Barak ym. 1999, Carlsson 2002a, b, Alparslan 2003, Ebert-May 2003, Grotzer & Bell Basca 2003, Lin & Hu 2003, Özay & Öztas 2003, Ebert-May 2004, Assaraf & Orion 2005). Varhaisimmissa tutkimuksissa keskityttiin yksittäisten biologisten ilmiöiden tutkimiseen, mutta etenkin biologian opetuksen tutkimus on siirtynyt

viime vuosikymmenenä yksittäisten käsitteiden tarkastelusta kohti monimutkaisempia kokonaisuuksia.

Biologian opiskelun tekee vaikeaksi se, että biologia tieteenalana vaatii ajattelua niin mikro-, makro- kuin symbolisellakin tasolla. Barakin ym. (1999) mukaan biologisia ilmiöitä opetettaessa on keskitytty liikaa yksittäisten ilmiöiden kuvaamiseen ja opetteluun, eikä prosessien ymmärtämiseen ole kiinnitetty tarpeeksi huomiota. Prosessien tarkastelussakin on huomioitu etupäässä vain lähtöaineet ja lopputulos, jolloin itse prosessi on jäänyt opiskelijalle epäselväksi, ns. mustaksi laatikoksi. Tämä on ilmennyt vaikeutena yhdistää paikallisia ilmiöitä koko systeemin toimintaan. Lin & Hun (2003) tutkimusten mukaan vaikeus ymmärtää biologisia kokonaisuuksia on voinut johtua myös siitä, että biologia tieteenalana on jaettu tiukasti omiin alaosaosihiinsa: solu- ja molekyylibiologia, ekologia, genetiikka, kasvi- ja eläinfysiologia jne.

### 3.5.2 Hiilen kierron hahmottaminen on vaikeaa

Hiilen kierto on monimutkainen ja moniulotteinen kokonaisuus, jossa yhdistyy lukuisia biogeokemiallisia prosesseja elo-, vesi-, kivi- ja ilmakehässä ja maaperässä. Ymmärtääkseen hiilen kierron kokonaisuutena on tunnettava sekä siihen liittyvät yksittäiset prosessit ja niiden toimintamekanismit että prosessien väliset yhteydet. Tärkeä elementti hiilen kierrossa on myös aika: Kierron nopeus eri varastojen välillä vaihtelee päivistä tuhansiin vuosiin.

Ebert-May (2003, 2004) on muodostanut tutkimustensa pohjalta hiilen kierrosta neljä ajattelutasoa, jotka kaikki on saavutettava kierron ymmärtämiseksi. Ensimmäisellä tasolla on tunnettava elo-, vesi- ja ilmakehän ja maaperän käsitteet ja tiedettävä, että aineet kiertävät näiden välillä. Toisella tasolla on ymmärrettävä prosessit ja mekanismit, joiden seurauksena aineet kiertävät eri varastojen välillä. Kolmannella tasolla edellytetään tietoa hiilen kierron eri osa-alueiden välisistä vastavuoroisista suhteista ja neljännellä tasolla kierron kokonaisvaltaista tarkastelua. Tutkimuksissa yliopisto-opiskelijat ovat saavuttaneet useimmiten toisen ajattelutason kyeten selittämään yksittäisten prosessien toiminnan hyvinkin tarkasti. He ovat osanneet kuvata esimerkiksi hajotustoiminnan tai soluhengityksen periaatteet, mutta eivät ole kyenneet yhdistämään niitä suurempaan kokonaisuuteen. Tutkimusten perusteella on selvää, että useimmat opiskelijat eivät kykene tarkastelemaan käsitteiden välisiä yhteyksiä ja takaisinkytkentöjä esimerkiksi energian virtauksen ja erilaisten kiertojen kohdalla. Etenkin aineiden olomuodonmuutokset elävän ja elottoman luonnon välillä ovat osoittautuneet vaikeasti hahmotettaviksi (Ebert-May ym. 2003, Ebert-May ym. 2004, Assaraf & Orion 2005).

### 3.5.3 Opiskelijoilla on runsaasti virheellisiä käsityksiä hiilen kierron prosesseista

Kokonaisuuden hahmottamisen vaikeuden ja puutteellisten tietojen lisäksi hiilen kierto on ja sen yksittäisiin osa-alueisiin on havaittu liittyvän useita virheellisiä käsityksiä (ks. mm. Ebert-May ym. 2003, Ebert-May ym. 2004, Assaraf & Orion 2005).

Opiskelijoiden on ensinnäkin todettu ajattelevan atomit enemmänkin energiaksi kuin aineeksi, minkä vuoksi he ymmärtävät heikosti atomeja eliöiden rakennusosiksi (Stavy ym. 1987, Hogan & Fisherkeller 1996). Samoin kemiallisten reaktioyhtälöiden ja yhdisteiden kemiallisten kaavojen ymmärtäminen tuottaa usealle opiskelijalle ongelmia. Tällöin esimerkiksi fotosynteesin lopputuotteen, glukoosin  $C_6H_{12}O_6$ , sisältämät alkuaineet jäävät helposti epäselviksi, eivätkä opiskelijat ymmärrä hiilidioksidin sisältämän hiiliatomin ja sokerin sisältämien hiiliatomien välistä yhteyttä (Stavy ym. 1987, Anderson ym. 1990). Olomuodonmuutokset ovat myös osoittautuneet vaikeasti ymmärrettäviksi aiheiksi biologian opetuksessa. Koska ne ovat keskeisiä aineiden kierrossa, ei kiertojen kokonaisvaltainen omaksuminen onnistu ilman olomuodonmuutosten taustalla vaikuttavien

lakien osaamista. Etenkin hiilidioksidi ja sen olomuodonmuutokset voivat olla kompastuskiviä ymmärryksessä. Opiskelijat eivät esimerkiksi miellä hiilidioksidia kasvien kasvun ja sokerin valmistuksen kannalta kovinkaan merkittäväksi aineeksi, vaikka tietävätkin, että hiilidioksidillakin on kaasuna massa. He ajattelevat, että hiilidioksidi on massaton kaasu, eikä se siten voi lisätä tai vähentää organismin massaa (Stavy ym. 1987, Hogan & Fisherkeller 1996, Carlsson 2002a,b, Ebert-May 2003, 2004).

Soluissa tapahtuvissa fotosynteesissä ja soluhengityksessä aine ja energia muuttuvat. Fotosynteesi ja soluhengitys ovat hiilen kierron kokonaisuymmärryksen kannalta keskeisiä tapahtumia, sillä ne yhdistävät kierron elottoman ja elollisen osan (Anderson ym. 1990). Fotosynteesistä on kuitenkin vaikea tehdä havaintoja, jolloin käsite ei yhdisty arkikokemuksiin. Tämän vuoksi fotosynteesiin liittyvä tieto onkin usein ulkoa opeteltua ja muistinvaraista, kuten ”kasvit valmistamat hiilidioksidista happea” (Anderson ym. 1990, Hogan & Fisherkeller 1996). Fotosynteesin lähtöaineisiin ja reaktiossa tarvittavan energian alkuperään liittyy lisäksi virhekäsityksiä. On yleistä, että opiskelijat ajattelevat fotosynteesin tuottavan energiaa hiilen ja ravinteiden ottamiseen maasta. Maasta otetut ravinteet lisäävät heidän mielestään kasvin biomassaa, ei fotosynteesi. Kasvien ajatellaan ”syövän” juurillaan orgaanisia aineita maaperästä. (Stavy ym. 1987, Ebert-May 2003, 2004). Aurinkoa ei myöskään välttämättä nähdä kasvien energianlähteenä, vaan opiskelijoilla saattaa olla käsityksiä myös muista energianlähteistä, 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).

Soluhengityksen ja hengityksen käsitteet menevät tutkimusten mukaan helposti sekaisin. Olisikin tärkeää puhua selkeästi soluissa tapahtuvasta soluhengityksestä, jolloin sekaannusta eläinten ja ihmisten keuhkoissa tapahtuvaan kaasujenvaihtoon ei syntyisi niin helposti (Anderson ym. 1990). Yleinen virhekäsitys on ajatus siitä, että vain eläimet ja ihmiset hengittävät: Kasveilla on kloroplastit mitokondrioiden sijaan, joten ne eivät voi hengittää (Ebert-May 2003). Opiskelijat saattavat ajatella, että kasvit varastoivat fotosynteesissä tuottamansa tärkkelyksen, eivätkä käytä sitä omana energianlähteenään tai että kasvit eivät tarvitse energiaa muiden elävien olentojen tavoin (Songer & Mintzes 1994). Perimmäisenä ongelmana Anderson ym. (1990) näkevät opiskelijoiden heikon ymmärryksen kasvien ja eläinten aineen ja energian käytöstä, jolloin kasvien autotrofisuutta ja kuluttajien heterotrofisuutta ei ole syvällisesti omaksuttu. Kasvien omavaraisuuden ymmärtämistä sotkee vielä ajatus, että kasvit tarvitsevat eläimiltä vapautunutta hiilidioksidia (Songer & Mintzes 1994).

Aineen häviämättömyys ei sekään ole opiskelijoille itsestäänselvyys. Hajottajia ja niiden toimintaa hiilen kierrossa ymmärretään erittäin huonosti (Hogan & Fisherkeller 1996, Majamaa & Ollila 1998). Tuottajien, kuluttajien ja hajottajien väliset yhteydet voivat olla heikosti tunnettuja (Lin & Hu 2003). Aineiden kierron ymmärtäminen vaikeutuu myös silloin, jos opiskelija ei koe hajoamisprosessin tarkkaa kuvaamista tärkeäksi. Esimerkiksi maaperähengityksen saatetaan ajatella tarkoittavan itse maaperän hengittämistä siinä elävien organismien hengittämisen sijaan (Ebert-May 2003, 2004). Opiskelijat vain pitävät aineiden häviämistä yksiselitteisenä ja ajattelevat, että hajotustoiminta johtaa aineiden häviämiseen (Leach ym. 1996). Jos aineet vain häviäisivät ekosysteemeistä, se olisi ensinnäkin aineen häviämättömyyden lain vastaista, mutta myös este aineiden kierron ymmärrykselle.

Myös ilmaston lämpenemiseen liittyy virheellisiä käsityksiä, kuten että ilmaston lämpeneminen johtaa koko maapallon tasaiseen lämpenemiseen tai että ilmakehän kohonnut hiilidioksidipitoisuus johtaa aina yhteyttämisen lisääntymiseen (Ebert-May 2004).

Edellä mainittuja virhekäsityksiä on löydetty kaikenikäisiltä opiskelijoilta. Virhekäsitykset ovat vaikeasti muutettavia, mitä kuvaa esimerkiksi luonnontieteitä opiskelevien yliopisto-opiskelijoiden virheellisten käsitysten suuri määrä vielä aihetta käsittelevien kurssien jälkeenkin (Ebert-May ym. 2003). Hiilen kierron kaltaisen monimutkaisen systeemin ymmärtäminen vaatisikin oppilaslähtöisten, moninaisten opetusmenetelmien käyttöä. Oppimisen solmukohtiin, kuten olomuodonmuutoksiin ja aineiden siirtymiseen elollisen ja elottoman välillä tulisi kiinnittää erityistä huomiota. Gudovitch & Orion (2001) esittävät tutkimuksensa pohjalta, että myös opiskelijoiden kemian ja fysiikan perustietoutta tulisi lisätä, jotta he kykenisivät paremmin ymmärtämään soluhengityksen ja fotosynteesiin kaltaisia ilmiöitä.

## **4 AINEISTO JA MENETELMÄT**

### **4.1 Tutkimusaikataulu ja koeasetelma**

Tutkimuksen aineisto kerättiin Jyväskylän yliopiston luokanopettajaopiskelijoilta keväällä 2006. Tutkimukseen osallistui 85 luokanopettajaopiskelijaa, joista kahdeksan oli ensimmäisen vuoden, 72 toisen vuoden, neljä kolmannen ja yksi neljännen vuoden opiskelija (N=85). Vastaajat olivat iältään 19-36-vuotiaita ja heistä 73 oli naisia ja 12 miehiä.

Aineisto kerättiin luokanopettajaopiskelijoille kuuluvien perusopetuksessa opettavien aineiden ja aihekokonaisuuksien monialaisten opintojen (POM-opintojen) ympäristökemian demonstraatiotunnilla. Koeasetelmassa pyrittiin jäljittelemään tilannetta, jossa luokanopettaja hankkii ennakkokäsityksensä ohjaamana tietoa opetettavasta aiheesta ennen tulevaa oppituntia ja laatii sitten vanhasta ja uudesta tiedosta muodostamansa käsityksen varassa pedagogisen suunnitelman aiheen opettamiseksi.

Vastaukset kerättiin lomakkeella (liite 1) kahdessa vaiheessa, jotta saataisiin tietoa sekä opiskelijoiden ennakkokäsityksistä hiilen kiertoa koskien että heidän kyvystään hankkia tietoa ja muokata aikaisempia käsityksiään uuden tiedon varassa.

### **4.2 Tutkimuksen kulku**

Luokanopettajaopiskelijat kirjoittivat ja piirsivät POM-opintojen ympäristökemian demonstraatiolla (POM11YL) näkemyksiään aiheesta ”Minä ja hiilen kierto”. Ennen lomakkeiden jakoa ja vastaamista opiskelijoille pidettiin noin 30 minuuttia kestänyt alustus kemian opetuksen lähtökohdista ja oppimisesta luonnontieteissä (liite 2, diat 1-9). Alustuksen jälkeen jaetussa avoimessa kyselylomakkeessa kysyttiin opiskelijan sukupuolta, ikää ja opiskeluvuotta. Ohjeistuksessa opiskelijaa pyydettiin kuvaamaan kirjoittamalla ja piirtämällä hiilen globaalia kiertoa ja omaa osallisuuttaan siihen.

Vastaamisen jälkeen opiskelijoille kerrottiin ensin yleisesti aineen ja energian kiertokulusta maapallolla. Sitten heille esiteltiin hiilen kierron pääpiirteet ja perusteltiin, miksi juuri hiilen kierto oli valittu tutkimuskohteeksi. Kerrottiin, että ekosysteemit eivät voi toimia ilman Auringon säteilyenergiaa ja aineiden kierrätystä. Ymmärtääkseen syvällisesti ekosysteemien toimintaa on oleellista huomata että toisin kuin energia, aineet ovat loputtomassa kierrossa maapallolla. Opiskelijoille myös selitettiin, että hiilen kierto on yksi tärkeimmistä aineiden kierroista, sillä ilman hiiltä ei elämää voisi lainkaan olla olemassa tuntemassamme muodossa. Kaikki elollisen luonnon aineet koostuvat jollain lailla hiilen eri yhdisteistä. Lisäksi perusteltiin aiheen valintaa tutkimuskäyttöön, sillä moniulotteisuutensa vuoksi hiilen kierto tarjoaa myös mahdollisuuden aihekokonaisuudet ja oppiainerajat ylittävään opetuksen integrointiin. Biologian sisällä hiilen kierto voi

sisällyttää niin solu- ja molekyyli-tason soluhengitystä ja fotosynteesiä kuin suurten ekosysteemien toimintaakin. Hiilen kiertoon sisältyy myös fysikaalisia ja kemiallisia ilmiöitä, joten integrointi fysiikkaan ja kemiaan on luontevaa. Hiilen kiertokulkuun on myös todettu liittyvän paljon virhekäsityksiä, jotka vaikeuttavat tieteellisen kuvan muodostamista (liite 2, diat 10-18).

Aiheen yhteisen käsittelyn jälkeen luokanopettajaopiskelijat saivat tutustua omatoimisesti hiilen kierrosta kertovaan Suomen metsäyhdistys ry:n web-sivustoon (<http://www.smy.fi/koulut/carbon/index.html>), jossa kerrotaan hiilen esiintymisestä luonnossa, hiilen kierrosta, kasvihuoneilmästä ja ihmisen vaikutuksesta hiilen kiertoon. He saivat perehtyä vapaasti myös muihin aiheita käsitteleviin internet-sivustoihin. Tällä pyrittiin jäljittelemään tilannetta, jossa luokanopettaja etsii tietoa ennen oppintuntia. Tutustumisen jälkeen opiskelijoita pyydettiin täydentämään ennen demonstraatiota kirjoittamaansa tekstiä ja kuvaa saamansa lisätiedon valossa. Täydennykset tehtiin eri värisellä kynällä tekstien sekoittumisen välttämiseksi. Tiedonhankintaan ja vastausten täydentämiseen oli käytettävissä 60 minuuttia. Demonstraation ja vastausten täydentämisen jälkeen luokanopettajaopiskelijat pohtivat vielä lisäksi, miten he voisivat opettaa hiilen kiertoa.

### 4.3 Aineiston analysointi ja vastausten luokittelu

#### 4.3.1 Tieteelliset ja virheelliset käsitykset

Tutkimuksen avulla kerättiin tietoa niin luokanopettajaopiskelijoiden biologisten prosessien hallinnasta ja hiilen kiertoa koskevan ymmärryksen tasosta kuin aiheita koskevista virhekäsityksistäkin. Opiskelijoille annettiin satunnaisesti numerot, joiden avulla tutkimuksessa käytetyt lainaukset ja piirroksot voidaan yhdistää oikeaan vastaukseen. Numerot merkittiin kursivilla suorien lainausten ja piirrosten perään.

Vastauslomakkeiden kirjoituksissa ja piirroksissa (N=85) esiintyneet hiilen kiertoon liittyvät sanat ja käsitykset laskettiin ja ryhmiteltiin. Vastauksista laskettiin myös niissä esiintyneet tieteelliset ja virheelliset käsitykset. Käsitykset laskettiin ensin siten, että huomioitiin vain ennen demonstraatiota tehdyt tuotokset. Sen jälkeen käsitykset laskettiin uudelleen lopullisista, demonstraation jälkeisistä tuotoksista. Tuloksista laadittiin taulukot (taulukot 1 ja 2).

Samalla opiskelijalla saattoi olla useita tieteellisiä tai virheellisiä käsityksiä. Mikäli opiskelijalla oli tieteellinen tai virheellinen käsitys ennen demonstraatiota, hänellä oletettiin olevan se myös demonstraation jälkeen, vaikka hän ei erikseen toistanut sitä demonstraation jälkeisessä osassa vastaustaan. Joissakin tapauksissa opiskelija oli yliviivannut ennen demonstraatiota kirjoittamansa tai piirtämänsä käsityksensä, jolloin hänen ajateltiin hylänneen tuon aikaisemman käsityksensä (kuva 16).

Taulukko 1. Luokanopettajaopiskelijoiden tieteellisiä käsityksiä hiilen kierrosta.

<b>Tieteellisiä käsityksiä</b>	<b>Ennen</b>	<b>Jälkeen</b>
<b>Hiileen alkuaineena liittyviä</b>		
Hiili on alkuaine	7	7
Hiilen rakenne mahdollistaa sen toimimisen kemiallisten yhdisteiden tukirankana	0	5
Hiili muodostaa muiden alkuaineiden kanssa hiiliyhdisteitä, joita ovat mm. hiilihydraatit, rasvat ja proteiinit	0	7
Eliöissä on hiiltä	21	37
Elävät organismit koostuvat, tuottavat ja käyttävät hiilen yhdisteitä	1	1

Hiiltä on kaikkialla: maaperässä, ilmakehässä, kallioperässä ja veteen liuenneena	1	25
<b>Fotosynteesiin liittyviä</b>		
Hengityksessä vapautuu hiilidioksidia	25	25
Hiilidioksidi syntyy soluissa soluhengityksen tuloksena	3	3
Kasvit käyttävät hiilidioksidia yhteyttämisessä	27	40
Kasvit tuottavat happea	6	6
Yhteyttämisessä syntyy sokeria ja happea	7	7
Kasvit tuottavat yhteyttämisessä sokeria ja happea auringon energian, hiilidioksidin ja veden avulla	9	20
<b>Soluhengitykseen liittyviä</b>		
Soluhengityksessä muodostuu hiilidioksidia	5	16
Hiilidioksidi syntyy soluissa soluhengityksen tuloksena	3	3
Soluhengityksestä saadaan energiaa	8	8
<b>Ravintoketjuihin liittyviä</b>		
Ihminen saa hiiltä ravinnostaan	14	16
Eläimet syövät kasveja ja ihminen eläimiä	8	8
Hiili kulkeutuu ihmiseen kasvien syömisen kautta	5	5
Ihminen saa hiiltä ravintoketjujen kautta	10	12
Kasvit ovat tuottajia	1	1
Ihminen on kuluttaja	2	2
<b>Hajotustoimintaan liittyviä</b>		
Eliön kuollessa hiiltä vapautuu maaperään	27	27
Hiili siirtyy maaperään hajottajien kautta	2	2
Hajotustoiminnassa ilmaan vapautuu hiilidioksidia	11	16
Maahengityksessä hiilidioksidia siirtyy ilmakehään	0	4
Hajottajat hajottavat myös eläinten ulosteiden hiiliyhdisteitä	5	5
Hajotustoiminnassa hiili siirtyy hajottajille	0	4
<b>Aineiden häviämättömyyteen liittyviä</b>		
Alunperin hiili on peräisin avaruudesta	1	1
Maapallo on energian suhteen avoin, mutta aineiden kierron suhteen suljettu systeemi		5
Hiiltä ei tule maapallolle lisää, vaan se kiertää	3	18
Hiili muuttuu olomuodosta toiseen	2	8
<b>Hiilen varastoihin liittyviä</b>		
Hiili on joko varastoituneena tai siirtymässä varastosta toiseen	0	13
Hiilen varastot ovat hyvin eri-ikäisiä	0	10
Suurin osa hiilestä on sitoutunut valtameriin	0	1
Valtameret ja kasviplankton sitovat hiiltä ja hiiltä on myös veteen liuenneena	0	14
<b>Hiilen kiertokulkuun liittyviä</b>		
Hiili kiertää maapallolla elollisen ja elottoman luonnon välillä	0	27
Hiilen kierto voidaan jakaa nopeaan biosykliin ja hitaaseen geosykliin	0	18

Eloperäisen yhdisteen palaessa vapautuu hiiltä, joka voi edelleen sitoutua esimerkiksi metsiin tai valtameriin	0	3
Hiiltä vapautuu ilmakehään soilta ja vulkaanisessa toiminnassa	0	8
<b>Hiileen fossiilisena polttoaineena liittyviä</b>		
Ihminen käyttää fossiilisia polttoaineita, kuten hiiltä	15	18
Teollisuudesta vapautuu ilmaan hiilidioksidia esimerkiksi kivihiilen poltossa	5	5
Hajoamattomasta orgaanisesta aineesta voi syntyä öljyä tai kivihiiltä paineen alla hapettomissa oloissa	8	18
Fossiilisten polttoaineiden käyttö aiheuttaa ilmaston lämpenemistä	6	6
Fossiilisten polttoaineiden käyttö aiheuttaa ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvua ja ilmaston lämpenemistä		11
<b>Ilmastonmuutokseen liittyviä</b>		
Metsien hakkaaminen ja kasvipinta-alan pieneneminen lisäävät ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta	3	4
Fossiilisten polttoaineiden käyttö aiheuttaa ilmaston lämpenemistä	6	6
Kaikki ilmakehään ihmisen toiminnan seurauksena vapautunut hiili ei ehdi nykyään sitoutua takaisin	0	4

Taulukko 2. Luokanopettajaopiskelijoiden virheellisiä käsityksiä hiilen kierrosta.

<b>Virheellisiä käsityksiä</b>	<b>Ennen</b>	<b>Jälkeen</b>
<b>Fotosynteesiin liittyviä</b>		
Yhteyttämiseen tarvittavia tekijöitä ei tiedetä	3	4
Kasvit saavat hiiltä maaperästä	12	12
Happi on yksi tärkeimmistä fotosynteesin lähtöaineista	1	0
Kasvit ottavat hiilidioksidia juurillaan	1	0
Yhteyttämässä syntyy hiilidioksidia	1	0
<b>Soluhengitykseen liittyviä</b>		
Kasvit saavat hiilestä energiaa	1	0
Hengityksessä vapautuu hiilidioksidia, mutta hiilidioksidissa ei ole hiiltä	1	0
Hiilidioksidi siirtyy keuhkoverenkierrosta soluhengityksen avulla keuhkoihin	1	0
Kasvit eivät itse hengitä	15	21
<b>Hajotustoimintaan liittyviä</b>		
Hajoamista, lahoamista, maatumista ja mätänemistä käytetään synonyymeinä	4	7
Maaperän pieneliöt luovuttavat hiiltä isommille eliöille	1	1
<b>Hiilen varastoihin liittyviä</b>		
Hiili ymmärretään vain kivi- tai puuhiilenä	4	0
Keskeisin hiilen varasto maapallolla on kivikehä	0	1
<b>Hiilen kiertokulkuun liittyviä</b>		
Hiili kiertää palaneen puun kautta takaisin kuluttajille	1	0
Hiilen kierto ei liity ihmiseen suoranaisesti mitenkään	1	0
Kun jokin palaa, syntyy uusiutuvaa hiiltä	1	0

#### 4.3.2 Mallivastaus ja systeemiajattelun tasot

Opiskelijoiden vastaukset luokiteltiin myös systeemiajattelun mukaisiin tasoihin. Ennen luokittelua laadittiin mallivastaus tutkimuslomakkeen kysymykseen ”Minä ja hiilen kierto”. Mallivastaus perustui lukion biologian, maantiedon, fysiikan ja kemian kurssien hiiltä ja hiilen kiertoa tai sen osia koskevaan oppisisältöön ja tulosten luokittelusta saatuun tietoon.

Mallivastauksen ”Minä ja hiilen kierto” avulla muodostettiin kahdeksan systeemiajattelun tasoa (taulukko 3). Tulosten luokittelu perustui systeemiajattelun mukaisiin tasoihin, sillä tutkimuksessa haluttiin kiinnittää huomiota erityisesti opiskelijoiden kykyyn ymmärtää laajoja, monimutkaisia ja verkottuneita kokonaisuuksia, joissa systeemi ja sen toiminta pitäisi hahmottaa suurempana kokonaisuutena kuin pelkkänä osiansa summana. Samankaltaista luokittelua ovat käyttäneet mm. Barak ym. (1999), Gudovitch & Orion (2001), Carlsson (2002a, 2002b) ja Lin & Hu (2003) tutkiessaan opiskelijoiden biologisia ilmiöitä koskevia käsityksiä.

##### *”Minä ja hiilen kierto” – mallivastaus*

*Hiili on maapallon yleisimpiä alkuaineita: kaikissa eliöissä on esimerkiksi hiiltä. Hiiltä on maapallolla kuitenkin rajattu määrä, eikä sitä tule lisää. Tämän vuoksi hiili kiertää jatkuvasti eri olomuodoissa eri varastojensa välillä. Hiiltä on sitoutuneena esimerkiksi maaperän soihin, kivennäismaihin, merien ja järvien pohjasedimentteihin sekä kivikehän öljykerrostumiin. Lisäksi hiiltä on sitoutuneena ilmakehän hiilidioksidiin ja elävään biomassaan. Suurimmat hiilen varastot sijaisevat valtamerissä. Hiilen kierto on riippuvainen toisaalta varastoissa olevan hiilen määrästä ja toisaalta varastojen välillä tapahtuvasta virtauksesta.*

*Minä olen monin tavoin yhteydessä hiilen kiertoon. Minussa itsessäni on ensinnäkin hiiltä erilaisina yhdisteinä. Olen osa erilaisia ravintoverkkoja, joissa hiili kiertää tuottajien kautta kuluttajille ja edelleen hajottajille. Tuottajat eli kasvit (ja eräät levät ja syanobakteerit) sitovat fotosynteesissä ilmakehän hiilidioksidia ja muodostavat siitä veden kanssa auringon säteilyenergian avulla sokereita ja happea ( $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ ). Fotosynteesissä auringon säteilyenergia siis sitoutuu yhteyttämisuotteiden kemialliseksi energiaksi. Kasvit muodostavat sokereista edelleen hiilihydraatteja, lipidejä ja proteiineja, joita ne tarvitsevat kasvaakseen. Syön itse kasveja tai eläimiä, jotka ovat syöneet kasveja, ja näin alunperin kasveihin sitoutunut hiili siirtyy osaksi omaa ruumistani.*

*Soluhengityksessä ravinnossa saamani energia vapautuu ja samalla syntyy hiilidioksidia. Hiilidioksidi siirtyy verenkierron ja keuhkojen kautta pois elimistöistäni uloshengityksessä. Sisäänhengityksessä saan happea, jota solut tarvitsevat soluhengityksessä. Suolistostani vapautuu joskus myös metaania, joka on yksi ns. kasvihuonekaasuista. Kuollessani ja ruumiini joutuessa maahan hajottajat hyödyntävät ja pilkkovat kehoni hiiliyhdisteitä. Hajottajaeliöiden toimiessa ruumiiseeni sitoutunut orgaaninen hiili palautuu tuottajien käyttöön joko maaperän orgaanisena aineena tai hajottajien soluhengityksen kautta hiilidioksidina.*



*Käytän jokapäiväisessä elämässäni lisäksi useita hiilestä tai sen yhdisteistä valmistettuja tuotteita. Vaikkapa muovin valmistuksessa käytetään öljyä, joka koostuu erilaisista hiilivedyistä. Osa käyttämästäni sähköenergiasta voi olla peräisin fossiilisista eli hiiltä sisältävistä polttoaineista kuten kivihielestä tai turpeesta. Kulkiessani julkisilla kulkuvälineillä, autoa ajaessani tai lentokoneella lentäessäni käytän myös hiiltä sisältävää polttoainetta. Fossiiliset polttoaineet ovat polttoaineita, jotka ovat syntyneet muinaisten eliöiden fossiloituessa, ja niistä tärkeimpiä ovat öljy, kivihiili, maakaasu ja turve. Fossiilisten polttoaineiden polttamisessa vapautuu palamistuotteita, joista yleisin on hiilidioksidi. Hiilidioksidi on yksi merkittävä kasvihuonekaasu. Ihminen on muuttanut hiilen kiertoa radikaalisti juuri ottamalla fossiiliset polttoaineet käyttöönsä, sillä ennen kuin ihminen alkoi hyödyntää merkittävässä määrin fossiilisia esiintymiä, niihin varastoitunut hiili ei juurikaan osallistunut hiilen kiertoon.*

*Olen todennäköisesti ostanut myös tuotteita, joiden valmistaminen on aiheuttanut hakkuita ja kasvillisuuden vähenemistä erityisesti tropiikissa. Tämä liittyy hiilen kiertoon, sillä maapallon pienentynyt kasvipinta-ala on johtanut ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvuun. Erityisesti käyttämäni fossiiliset polttoaineet ovat myös aiheuttaneet ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvua, minkä seurauksena maapallon keskilämpötila on kohonnut. Puhutaan ilmastomuutoksesta, johon minäkin olen ihmisenä osallisena. Mikäli fossiilisten polttoaineiden käyttö pysyy nykyisellä tasollaan, jatkuu maapallon keskilämpötilan kohoaminen entisestään. Tällä hetkellä ei vielä varmasti tiedetä, millaisia vaikutuksia sillä on ekosysteemien toimintaan.*

*Voisin itse vaikuttaa positiivisesti hiilen kiertoon pienentämällä energiankulutustani esimerkiksi käyttämällä enemmän polkupyörää ja julkisia kulkuvälineitä ja välttämällä turhaa sähkönkulutusta ja turhien tavaroiden hankkimista.*

Taulukko 3. Systeemiajattelun tasot.

Taso	Tason kuvaus
0	Vastaajalla ei ole systeemiajattelua eikä kokonaiskuvaa hiilen kierrosta.
1	Vastaaja osaa nimetä hiilen kierron osia (fossiiliset polttoaineet, hiilidioksidi, kuluttajat) ja prosesseja (fotosynteesi, soluhengitys, ravintoketju, hajotustoiminta, palaminen).
2	Vastaaja osaa tunnistaa hiilen kierron osien ja prosessien välisiä yhteyksiä (soluissa syntyy soluhengityksen tuloksena hiilidioksidia, jota kasvit käyttävät fotosynteesissä tuottaakseen sokeria ja happea auringon energian ja veden avulla; metsien hakkaaminen ja kasvipinta-alan pieneneminen lisäävät ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta).
3	Vastaaja kykenee selittämään hiilen kierron osien ja prosessien väliset yhteydet ja järjestämään ne johdonmukaiseksi kokonaisuudeksi.
4	Vastaaja osaa tehdä hiilen kiertoa koskevia yleistyksiä.
5	Vastaaja ymmärtää, että hiilen kierto on dynaaminen ja syklinen ilmiö, jossa muutokset yhdessä kohdassa kiertoa johtavat muutoksiin myös toisaalla (jos fossiilisiin polttoaineisiin sitoutunutta hiiltä vapautetaan palamisreaktiossa, se siirtyy johonkin toiseen hiilen varastoon).

- 6 *Vastaaja osaa tunnistaa hiilen kiertoon kätkeytyneet tekijät (fotosynteesin lähtöaineena ovat ilmakehän hiilidioksidimolekyylit, maahengitys on hajottajaorganismien soluhengityksen tulosta).*
- 7 *Vastaaja ymmärtää, että alkuaineet kuten hiili, kiertävät maapallolla (aineen häviämättömyyden laki). Hiilen globaali kierto voidaan jakaa myös pienempiin kiertoihin (hiilen kierto fotosynteesin, ravintoverkon ja hajotustoiminnan kautta; hiilen kierto maaperän esiintymistä tulivuorenpurkausten tai fossiilisten polttoaineiden käytön kautta ilmakehään, fotosynteesin kautta kasveihin ja maatuviin kasvien kautta takaisin maaperään).*
- 8 *Vastaaja ymmärtää, että hiilen kierrossa on myös ajallinen perspektiivi: Osa hiilen kierron nykyisestä toiminnasta ja tilasta on seurausta menneistä tapahtumista ja tulevaisuuden hiilen kierto voi olla seurausta nykyisistä vuorovaikutuksista. Vastaaja osaa tehdä ennusteita hiilen kierron tulevaisuudesta.*
- 

Jokaisen luokanopettajaopiskelijan vastaus luokiteltiin kahteen kertaan siten, että ensimmäinen luokittelu perustui ennen demonstraatiota tuotettuun tekstiin ja piirroksiin ja toinen lopulliseen, demonstraation jälkeiseen tuotokseen. Luokittelussa huomioitiin voimakkaat virhekäsitykset ja ristiriitaiset vastaukset.

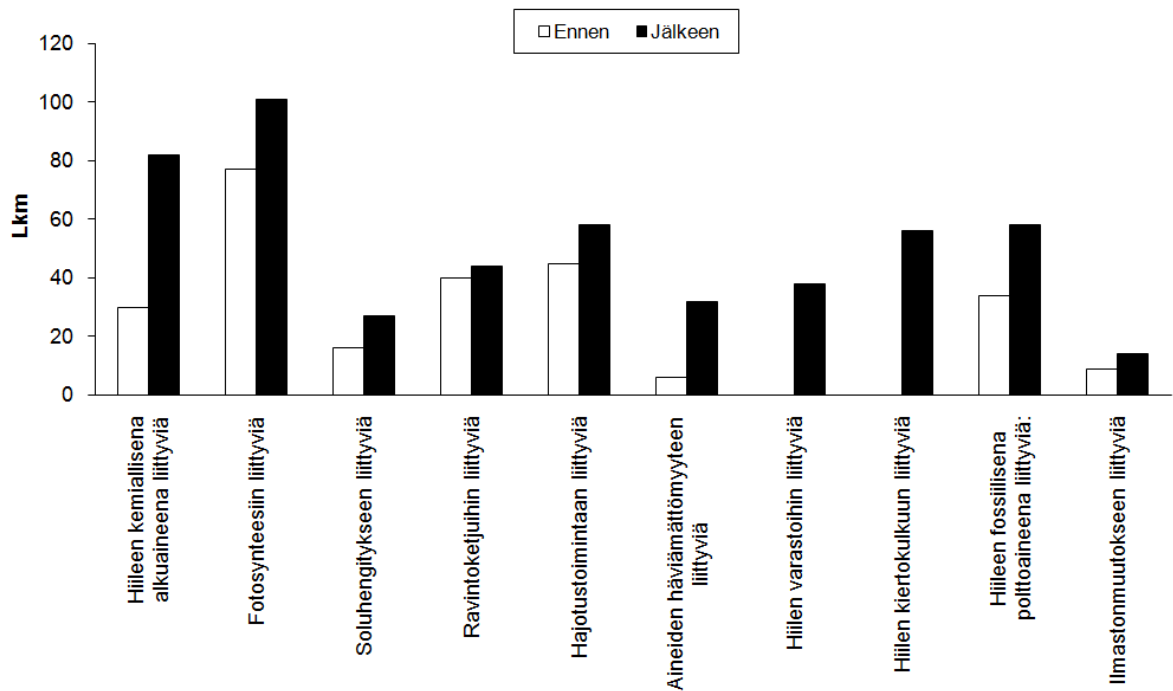
## 5 TULOKSET

### 5.1 Vastauksissa esiintyvät hiilen kiertoon liittyvät tieteelliset käsitykset

#### 5.1.1 Opiskelijoilla oli runsaasti tieteellisiä käsityksiä hiilen kiertoon liittyen

Kaikkiaan erilaisia yksittäisiä tieteellisiä käsityksiä oli ennen demonstraatiota yhteensä 257 (kuva 3). Ennen demonstraatiota suurin osa tieteellisistä käsityksistä liittyi fotosynteesiin. Toiseksi eniten tieteellisiä käsityksiä esiintyi hajotukseen liittyen ja kolmanneksi eniten ravintoketjuihin liittyen. Myös fossiilisiin polttoaineisiin ja hiileen alkuaineena liittyvät käsitykset olivat yleisiä. Soluhengitykseen, ilmastonmuutokseen ja aineiden häviämättömyyteen liittyviin käsitteisiin viittasi harvempi. Hiilen varastoja ja kiertokulkua ei maininnut kukaan ennen demonstraatiota.

Demonstraatiota jälkeen fotosynteesiin liittyviä tieteellisiä käsityksiä oli yhä eniten (kuva 3). Toiseksi eniten oli hiileen alkuaineena liittyviä ja kolmanneksi eniten hajotustoimintaan ja hiileen fossiilisenä polttoaineena liittyviä käsityksiä. Seuraavaksi yleisimpiä olivat hiilen kiertokulkuun, ravintoketjuihin, hiilen varastoihin, aineiden häviämättömyyteen ja soluhengitykseen liittyvät käsitykset. Ilmastonmuutokseen liittyvät käsitykset olivat harvinaisimpia.

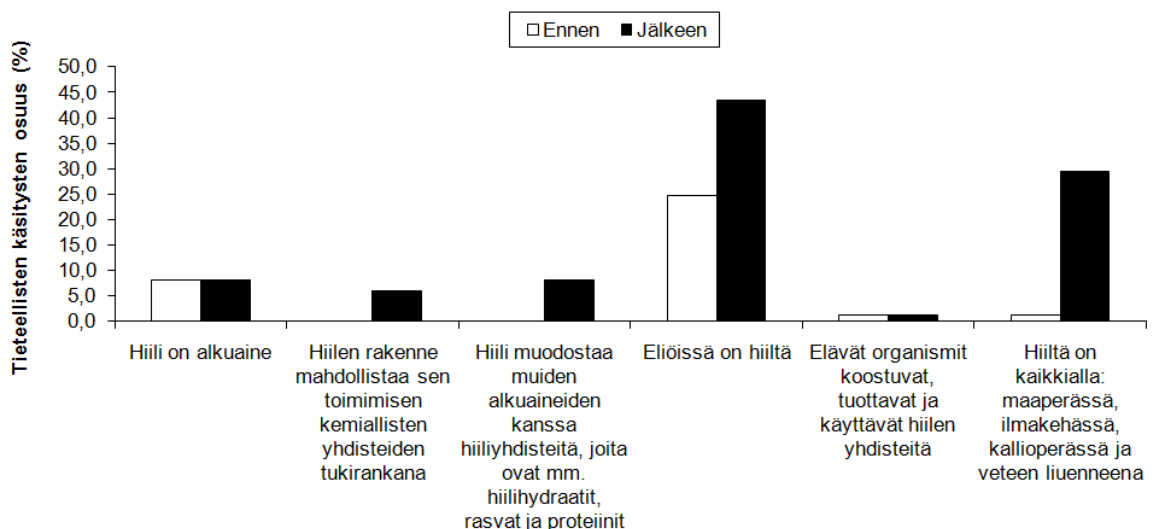


Kuva 3. Tieteellisten käsitysten lukumäärät luokanopettajaopiskelijoiden vastauksissa (N=85).

### 5.1.2 Hiileen alkuaineena liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit

Jokaisen tieteellisen käsityksen osalta laskettiin sen osuus kaikissa vastauksissa sekä ennen demonstraatiota että demonstraation jälkeen.

Vastausten perusteella luokanopettajaopiskelijat tiesivät yleisimmin, että elävissä eliöissä on hiiltä. Neljännes opiskelijoista oli maininnut tämän vastauksessaan jo ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen lähes puolet vastaajista (37/85) oli tätä mieltä. Demonstraatioon jälkeen usea opiskelija (25/85) mainitsi myös, että hiiltä on kaikkialla maapallolla. Sen sijaan vain viisi opiskelijaa selitti demonstraation jälkeenkin, miksi juuri hiili toimii useiden kemiallisten yhdisteiden tukirankana (kuva 4).

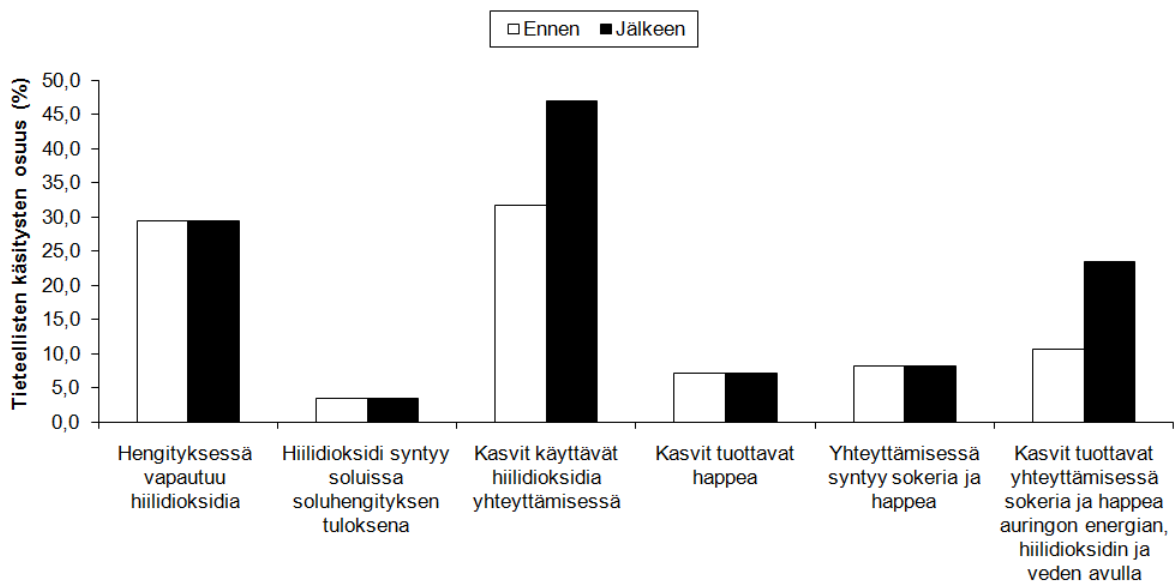


Kuva 4. Hiileen kemiallisena alkuaineena liittyvien tieteellisten käsitysten osuudet vastauksista ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.

### 5.1.3 Fotosynteesiin liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit

Luokanopettajaopiskelijoilla oli runsaasti tietoa fotosynteesiin liittyen. Ennen demonstraatiota lähes kolmasosa (27/85) ja demonstraation jälkeen lähes puolet (40/85) vastaajista tiesi, että kasvit käyttävät hiilidioksidia yhteyttämiseen. Samoin lähes kolmasosa (25/85) mainitsi, että hengityksessä vapautuu hiilidioksidia, jota käytetään edelleen fotosynteesissä. Kuitenkin vain kolmen opiskelijan vastauksesta kävi ilmi fotosynteesin yhteydessä, miten hengityksessä vapautuvaa hiilidioksidia syntyy soluhengityksen tuloksena.

Kuusi opiskelijaa oli maininnut fotosynteesin lopputuotteista vain hapen ja seitsemän opiskelijaa sokerin ja hapen. Ennen demonstraatiota vain joka kymmenes vastaajista oli osannut nimetä oikein sekä fotosynteesin lähtöaineet että lopputuotteet, mutta demonstraation jälkeen ne oli sisällytetty neljäsosaan vastauksista (kuva 5).

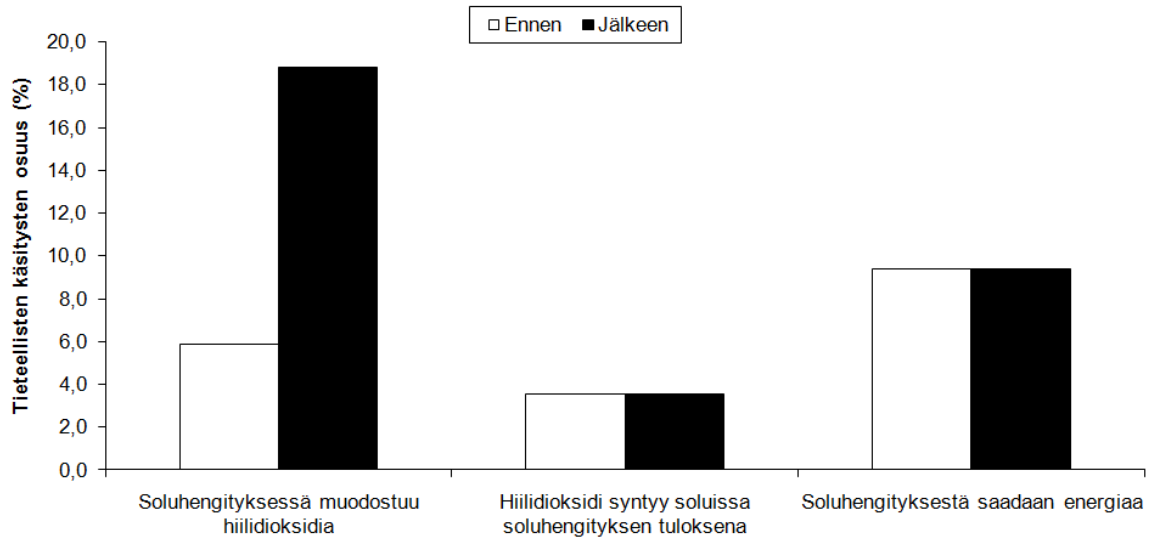


Kuva 5. Fotosynteesiin liittyvien tieteellisten käsitysten osuudet vastauksista ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.

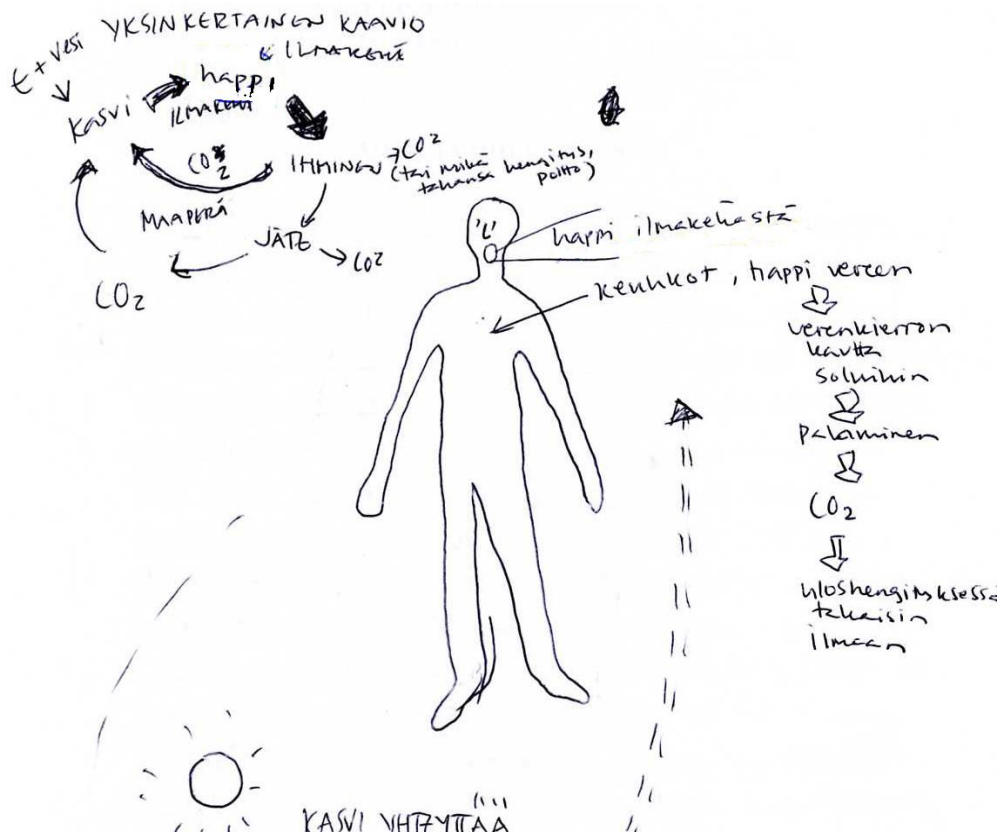
### 5.1.4 Soluhengitykseen liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit

Ennen demonstraatiota vain joka kymmenes opiskelija oli maininnut soluhengityksen vastauksessaan. Soluhengityksestä kirjoittaneet olivat kuitenkin tienneet, että *ravinnosta vapautuu soluhengityksen avulla energiaa* (31) (8/85) (kuva 6). Demonstraation jälkeen soluhengityksen vastauksiinsa sisällyttäneiden määrä (16/85) kasvoi kaksinkertaiseksi.

Osa vastaajista oli käyttänyt soluhengityksen yhteydessä sanaa *palaminen*, kuten *hiilidioksidia muodostuu soluissa palamisen tuloksena* (4) ja *happi kulkeutuu verenkierron kautta soluihin, jossa se poltetaan soluhengityksessä* (15) (kuva 7). Monelle soluhengitys oli kuitenkin epäselvä asia. Yksi vastaajista esimerkiksi kirjoitti, että *siitä minulla ei ole tarkkaa käsitystä, miten hiilen kierto elimistöni sisällä tapahtuu* (45).



Kuva 6. Soluhengitykseen liittyvien tieteellisten käsitysten osuudet vastauksista ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.



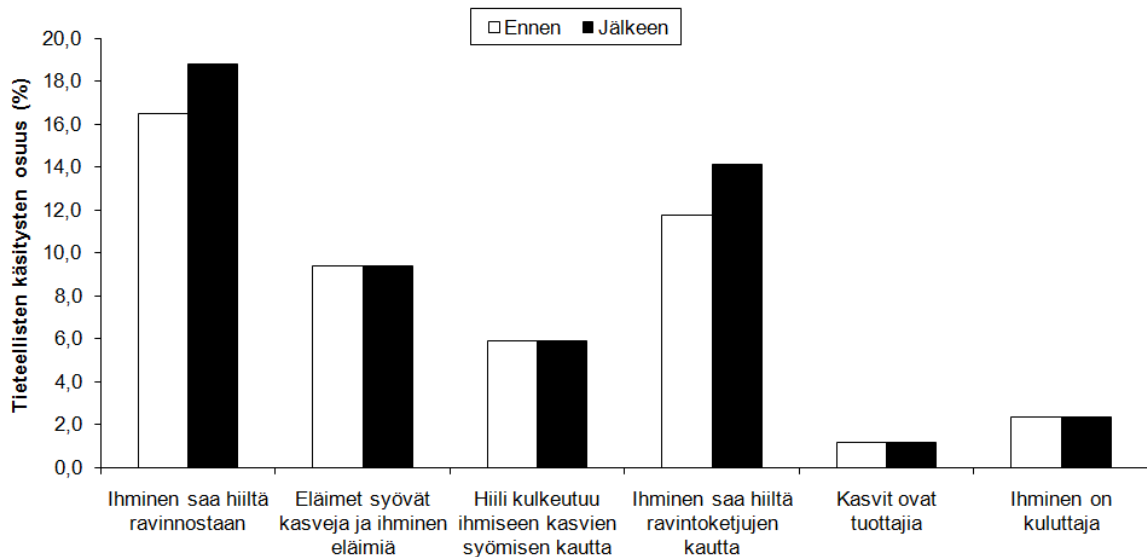
Kuva 7. Opiskelijan (15) piirroksessa on kuvattu soluhengityksen periaate.

### 5.1.5 Ravintoketjuihin liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit

Ravintoketjuihin liittyvät merkinnät eivät juurikaan lisääntyneet vastauksissa demonstraation jälkeen, mutta olivat yleisiä jo ennen sitä (kuva 7). Ennen demonstraatiota

lähes puolet vastaajista (37/85) oli maininnut tavalla toisella ihmisen olevan osa ravintoketjuja ja demonstraation jälkeen ajatus löytyi yli puolesta vastauksista (44/85).

Osa opiskelijoista ei ollut eritellyt ihmisen ravinnonlähteitä, vaan ilmoitti vain saavansa hiiltä ravinnostaan. Kahdeksan vastaajista ajatteli, että *yhteyttämisessä syntynyt hiili päätyy kasvin rakenteisiin tai sen varastoimiin sokereihin ja kun eläin (myös ihminen, esim. minä) syö kasvin, hiili siirtyy eläimeen* (16). Viisi opiskelijoista taas kirjoitti, että *nautin ravinnokseni kasvisravintoa, jolloin hiili kulkeutuu kehooni* (14). Vastauksista ei käynyt ilmi, ajattelivatko näin vastanneet, ettei liharavinto sisällä hiiltä vai jäikö se vain mainitsematta (kuva 8).

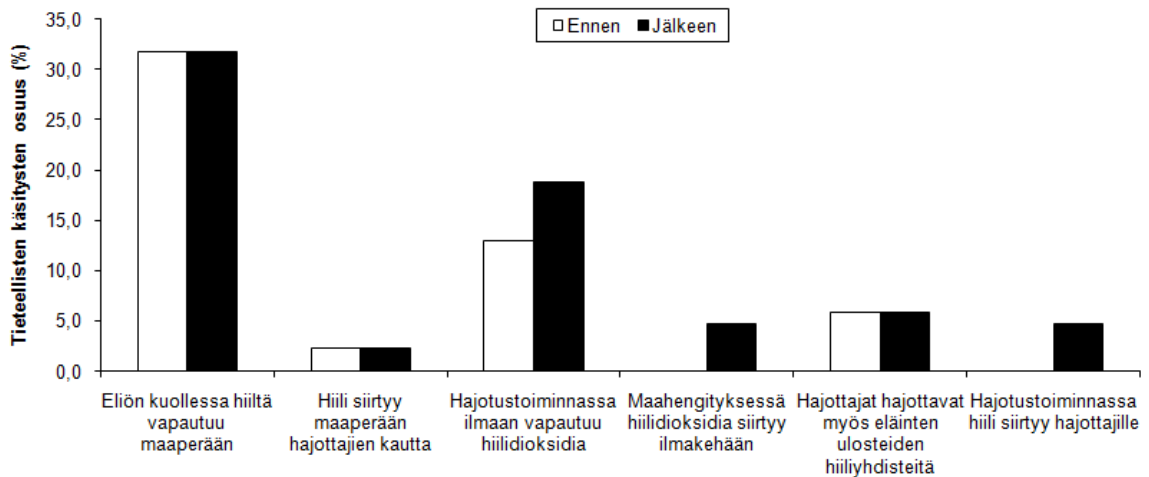


Kuva 8. Ravintoketjuihin liittyvien tieteellisten käsitysten osuudet vastauksista ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.

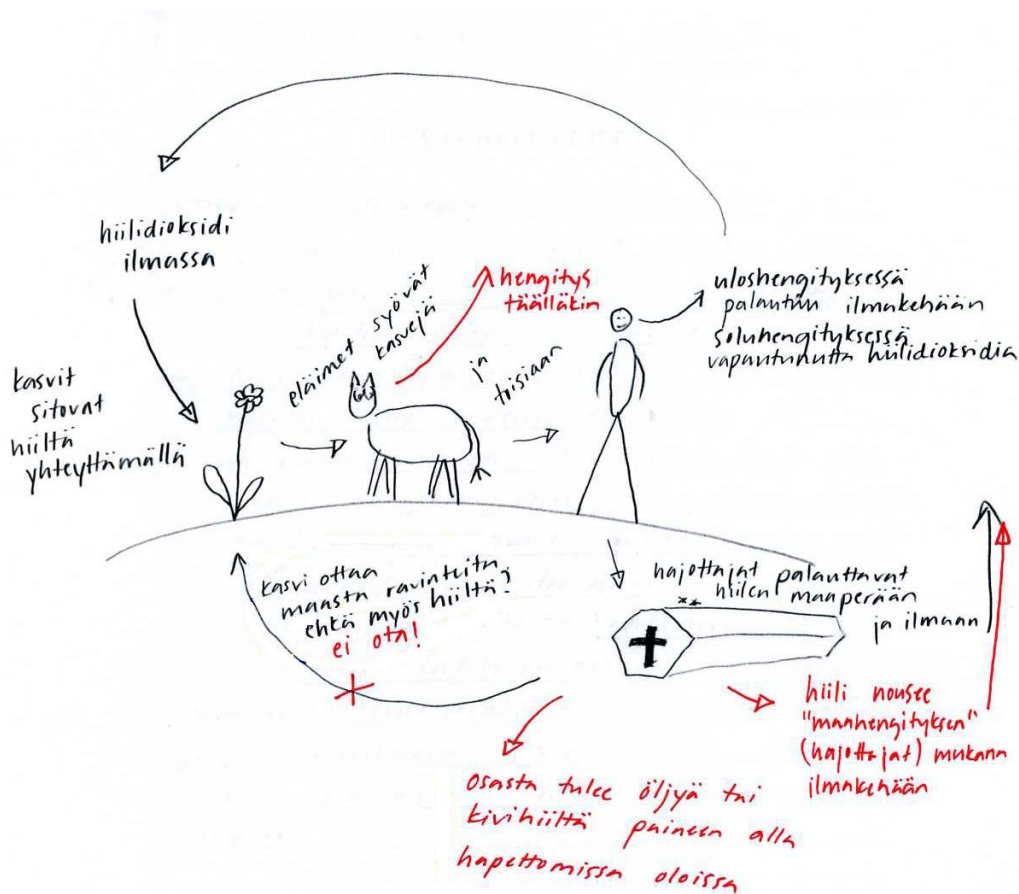
### 5.1.6 Hajotustoimintaan liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit

Lähes kolmasosa vastanneista (27/85) oli sitä mieltä, että *hiili kulkeutuu maaperään hajottajien kautta* (14) (kuva 8). Osa oli ilmaissut käsityksensä tarkemmin: *hajottajat vapauttavat hiilen maaperään tai hiilidioksidina ilmaan* (16) (kuva 9).

Kaikista vastauksista ei voitu päätellä, ymmärsikö opiskelija hajotustoiminnan periaatteen, sillä moni sisällytti vastaukseensa myös virheellisen käsityksen fotosynteesin lähtöaineiden alkuperästä. Virheellisen käsityksen mukaan kasvit ottavat kasvuunsa tarvitsemansa hiilen maaperästä ilmakehän hiidioksidin sijaan. Tällöin virheellisen käsityksen omaava opiskelija saattoi ajatella, että hajotustoiminnan seurauksena maaperään vapautui hiiltä sellaisessa muodossa, jota kasvit edelleen imivät juurillaan kasvaakseen.



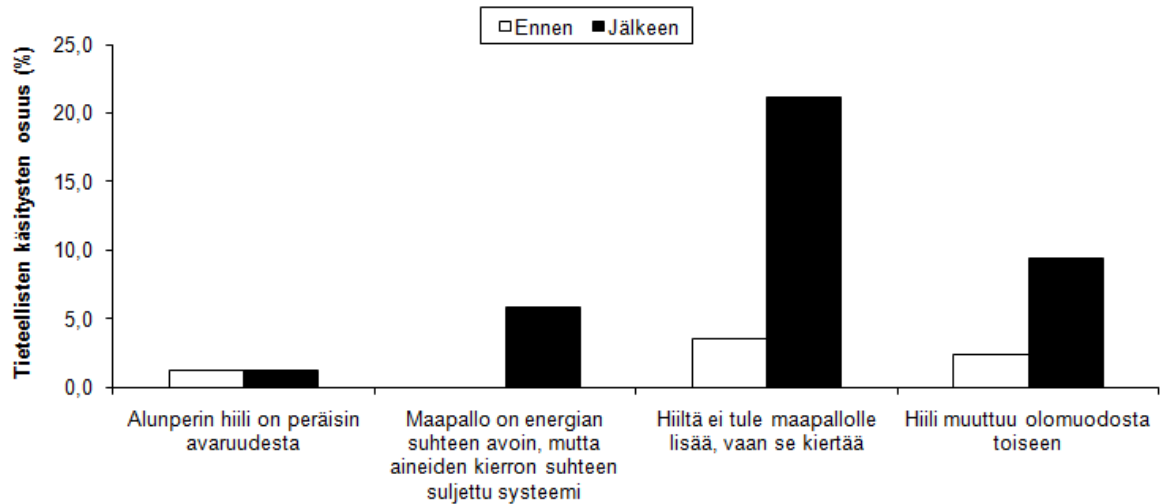
Kuva 8. Hajotustoimintaan liittyvien tieteellisten käsitysten osuudet vastauksista ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.



Kuva 9. Opiskelijan (16) piirroksessa hiili nousee ilmakehään hajottajien maahengityksen mukana.

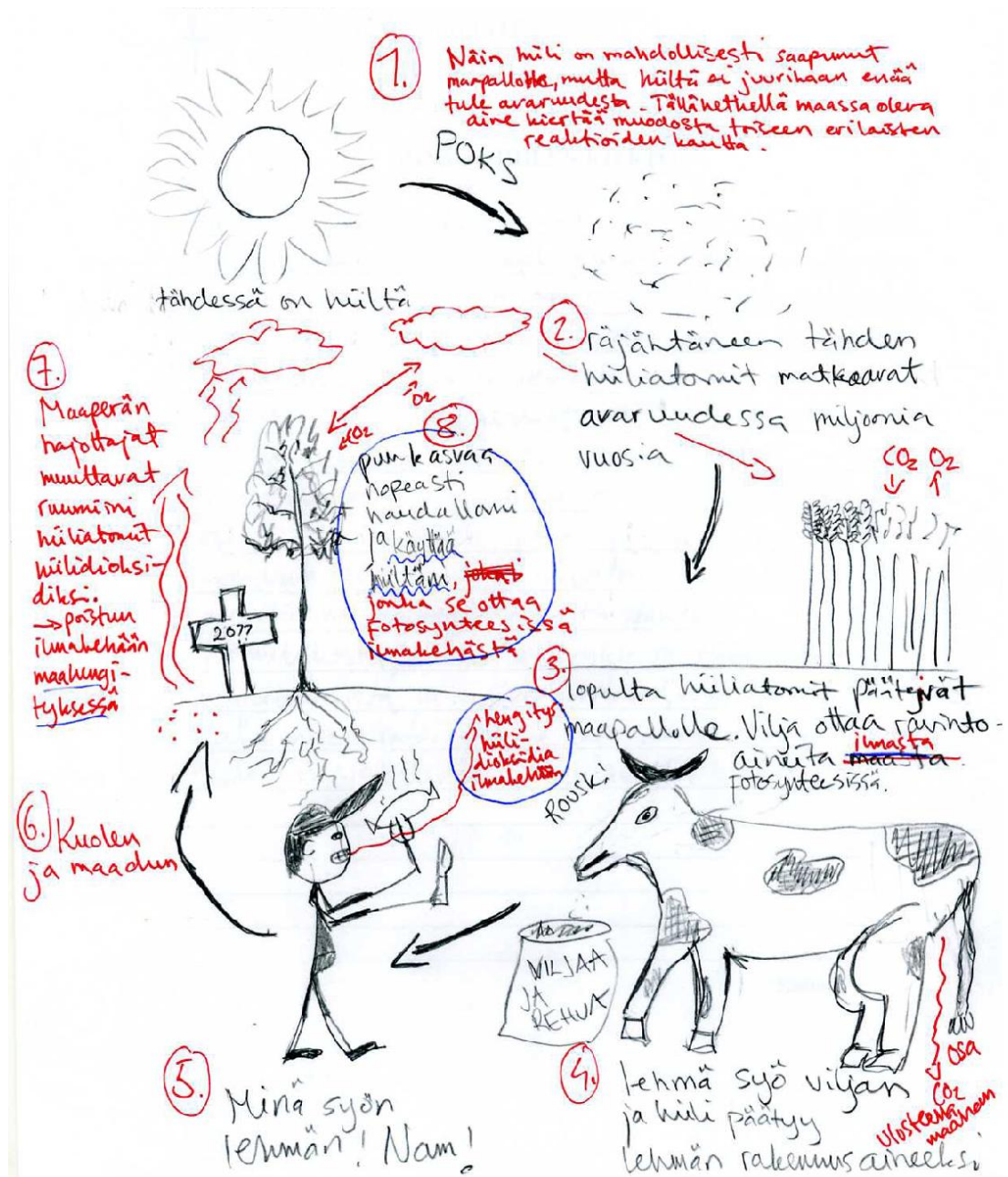
### 5.1.7 Aineiden häviämättömyyteen liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit

Vain muutamalla luokanopettajaopiskelijalla oli aineiden häviämättömyyteen ja kiertoon liittyviä tieteellisiä käsityksiä ennen demonstraatiota (kuva 10). Demonstraation jälkeen noin viidennes (18/85) opiskelijoista oli lisännyt vastauksiinsa käsityksen siitä, että maapallolla on tietty määrä hiiltä ja että hiili ei häviä vaan kiertää muuttaen olomuotoaan (kuva 11).



Kuva 10. Aineiden häviämättömyyteen liittyvien tieteellisten käsitysten osuudet vastauksista ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.

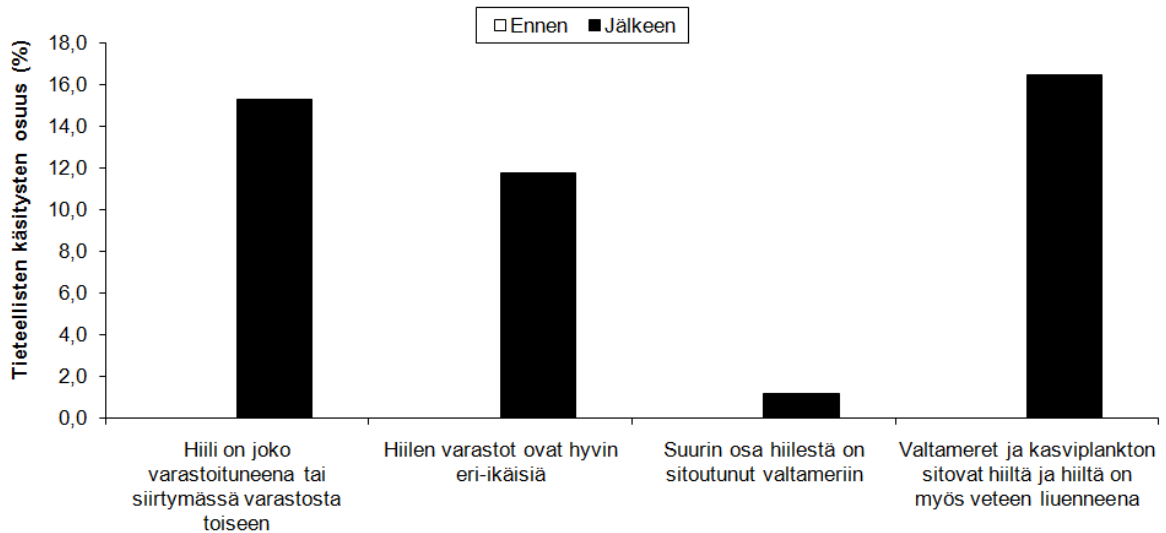




Kuva 11. Opiskelijan (19) piirroksessa aine kiertää maapallolla muuttaen olomuotoaan.

### 5.1.8 Hiilen varastoihin liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit

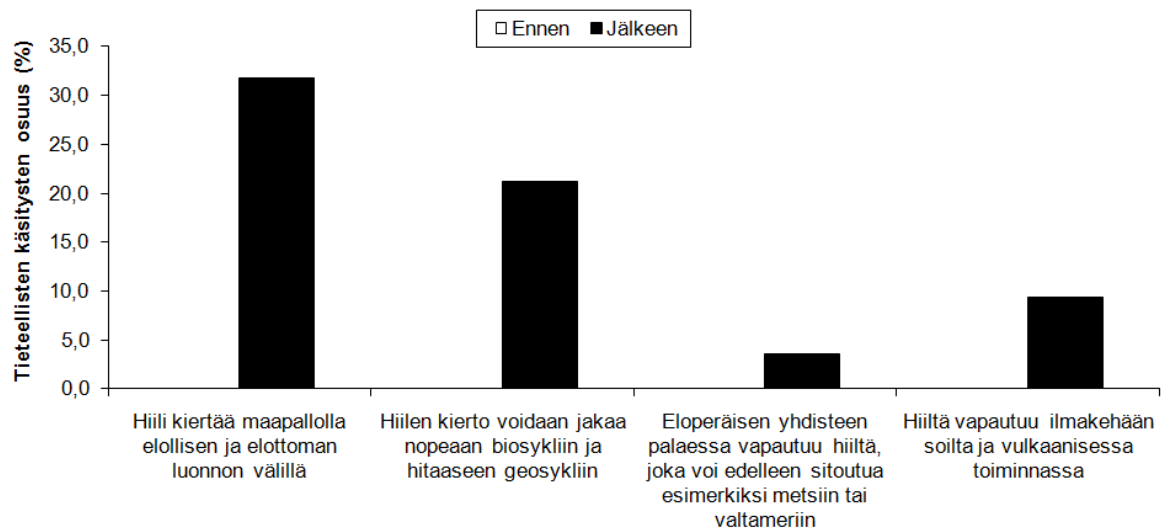
Kukaan opiskelijoista ei maininnut hiilen varastoja vastauksissaan ennen demonstraatiota. Demonstraation jälkeen vastauksissa käsiteltiin hiilen eri varastoja ja niiden kokoja sekä hiilen kiertonopeutta eri varastojen välillä (kuva 12). Hiilen varastoista opiskelijat mainitsivat vain valtameret (15/85).



Kuva 12. Hiilen varastoihin liittyvien tieteellisten käsitysten osuudet vastauksista ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.

### 5.1.9 Hiilen kiertokulkuun liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit

Kenelläkään opiskelijoista ei ollut tieteellisiä käsityksiä hiilen kiertokulkuun liittyen ennen demonstraatiota. Demonstraatioon jälkeen lähes kolmannes (27/85) oli maininnut, että hiili kiertää elottoman ja elollisen luonnon välillä olomuotoaan muuttaen. Yli viidesosa (18/85) oli maininnut myös, että hiilen kierto voidaan jakaa nopeaan biosykliin ja hitaaseen geosykliin. Opiskelijoista 11 oli selittänyt tarkemmin, mitä käsitteet tarkoittavat (kuva 13).

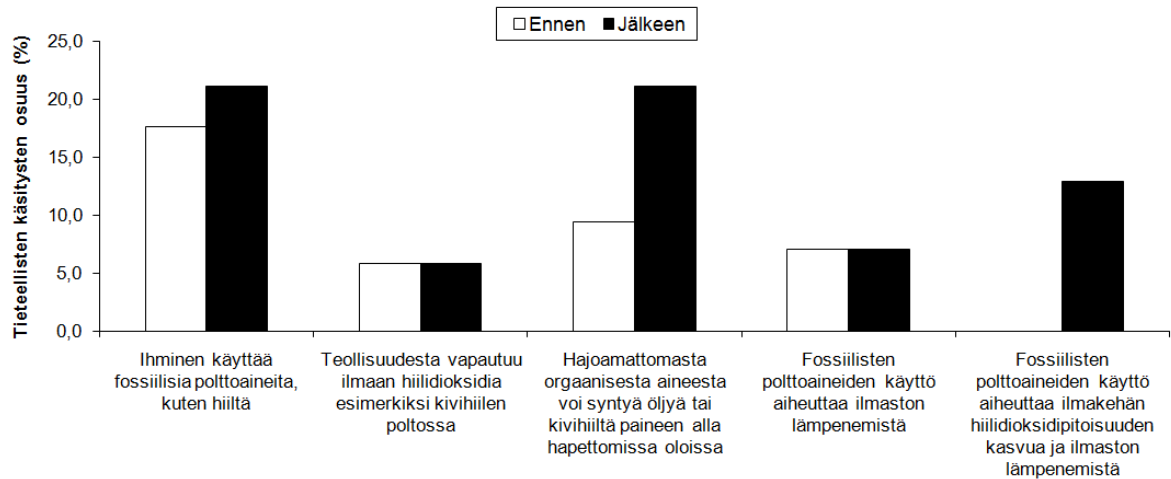


Kuva 13. Hiilen kiertokulkuun liittyvien tieteellisten käsitysten osuudet vastauksista ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.

### 5.1.10 Hiileen fossiilisena polttoaineena liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit

Käsitykset hiilestä fossiilisena polttoaineena jakautuivat pääasiallisesti ihmisen aiheuttamiin käyttövaikutuksiin ja hiilen syntymekanismiin hajoamattomasta orgaanisesta aineesta. Demonstraatioon jälkeen noin viidesosa totesi ihmisen käyttävän fossiilisia

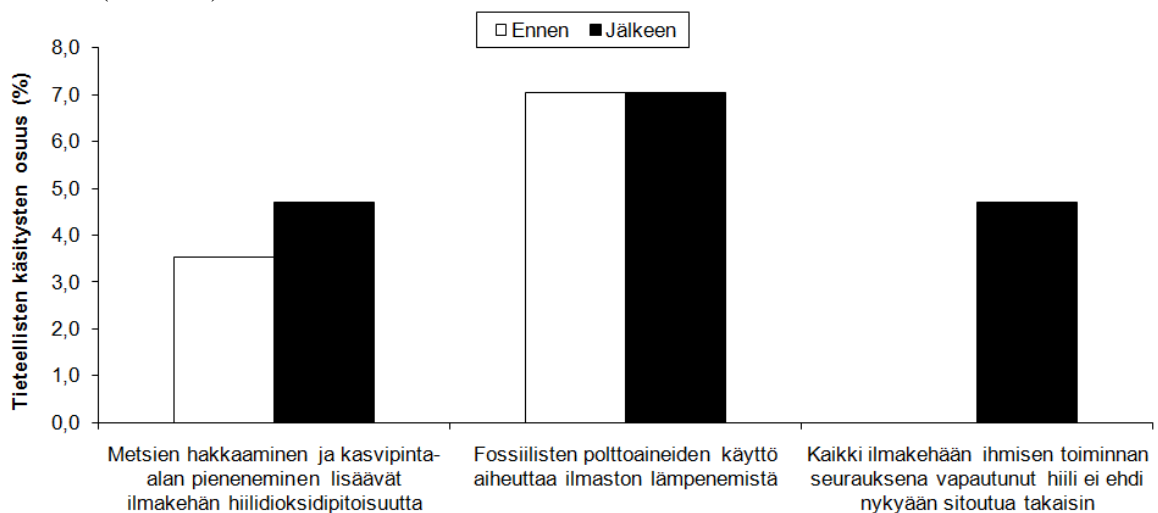
polttoaineita. Viisi opiskelijaa perusteli tätä teollisuuden kivihiilen polttamisella, jolloin ilmaan vapautuu hiilidioksidia. Toinen viidennes (18/85) selitti fossiilisten polttoaineiden syntyä hajoamattomasta orgaanisesta aineesta. Lisäksi viidennes vastaajista mainitsi fossiilisten polttoaineiden käytön aiheuttavan ilmaston lämpenemistä, mitä osa (11/85) edelleen perusteli ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kasvulla (kuva 14).



Kuva 14. Hiileen fossiilisena polttoaineena liittyvien tieteellisten käsitysten osuudet vastauksista ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.

#### 5.1.11 Ilmastonmuutokseen liittyvien tieteellisten käsitysten frekvenssit

Vain harja opiskelija käsitteli ilmastonmuutosta vastauksissaan. Ilmastonmuutoksen syitä käsittelevien vastaajien käsitykset perustuivat suurelta osin kasvipinta-alan pienenemiseen ja fossiilisten polttoaineiden käyttämiseen. Demonstraation jälkeen neljä vastaajaa perusteli ilmastonmuutosta metsien hakkaamisella ja kuusi vastaajaa mainitsi fossiilisen polttoaineen käytön aiheuttavan ilmaston lämpenemistä. Lisäksi neljä vastaajaa selvensi demonstraation jälkeen, että nykyään kaikki ilmakehään vapautunut hiili ei ehdi sitoutua takaisin (kuva 15).



Kuva 15. Ilmastonmuutokseen liittyvien tieteellisten käsitysten osuudet vastauksista ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.

### 5.1.12 Aineiston tieteellisin ja monipuolisin vastaus

*”Hiiltä on sitoutuneena öljyyn ja muihin polttoaineisiin. Kun hiiltä poltetaan tai käytetään fossiilisia polttoaineita, ilmakehään vapautuu hiilidioksidi. Hiiltä on sitoutuneena myös maapallon kasvipeitteeseen, joka käyttää ilman hiilidioksidiä yhteyttämiseen. Auringon valo ja hiilidioksidi synnyttävät hapetta ja sokeria ja saadaan energiaa. Metsiä kaadettaessa hiilidioksidiä sitovan kasvipeitteen määrä vähenee, mikä lisää ilman hiilidioksidipitoisuutta. Jos tilalle kasvaa uusi metsä, se sitoo päästöä vastaavan hiilimäärän ilmakehästä. Toisaalta kasvien myös lahoamistuotteena tai esim. käytettäessä puuta energiantuotantoon, niihin sitoutunut hiilidioksidi vapautuu ilmaan. Maaperään hiili on tullut aikojen kuluessa kasvipeitteen mukana. Ihmisen käytössä maaperän hiilivarat vähitellen loppuvat, koska sen syntymiseen on kulunut pitkä aika. (ennen demoa)*

*Geosyklissä hiili viipuu jopa miljoonia vuosia. Monet merissä olevat eliöt käyttävät happaman sadeveden liuottamia mineraaleja ja niiden kuoltua mineraalit painuvat eliöiden mukana merenpohjan kerrostumiin. Tietyissä oloissa eloperäisistä kerrostumista muodostuu öljyä tai maakaasua. Turpeen eloperäisestä aineesta muodostuu suuressa paineessa ensin ruskohiiltä ja sitten kivihiltä. Ilman ihmisen vaikutusta hiili vapautuu geosyklissä hyvin hitaasti ilmakehään.*

*Nopeaan hiilen kiertoon eli biosykliin kuulu kierto elottoman ja elollisen luonnon välillä. Viherhiukkasia sisältävät kasvit sitovat ilmakehän hiilidioksidiä fotosynteesissä -> eläimet syövät kasveja ja saavat hiiliyhdisteitä rakennusaineikseen. Soluhengityksessä energiaa vapautuu solun toimihintoihin ja hiilidioksidi siirtyy hengityksessä ilmakehään. Bakteerit ja sienet hajottavat kuolleet kasvit ja eläimet -> hiiltä hajottajien rakennusaineiksi ja hiiltä ilmakehään hajottajien soluhengityksessä.*

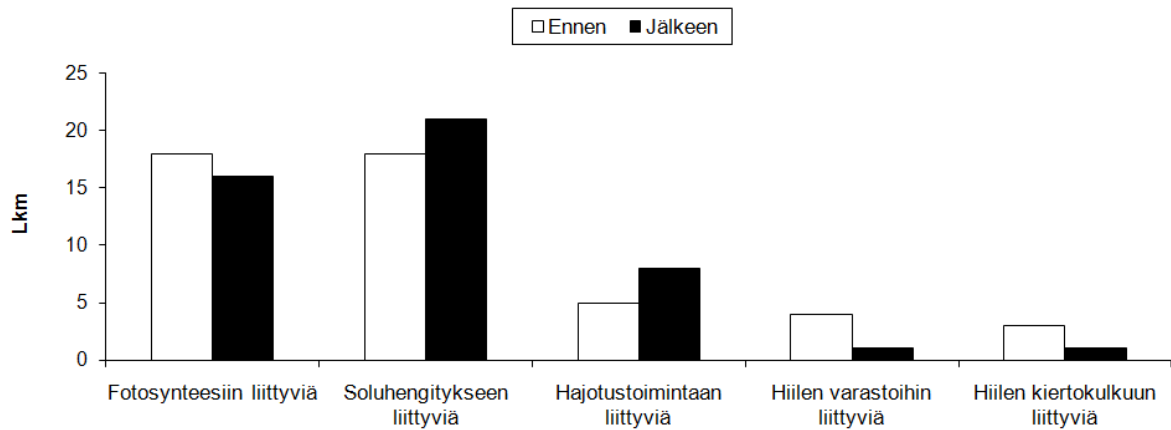
*Ihmisen toiminta biosyklin rajoissa ei juurikaan muuttaisi ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta. Esim. polttamalla puuta palautamme sieltä lyhyen aikaa poissa ollutta hiilidioksidiä. Hakkuun jälkeen uusiutuva metsä sitoo päästöä vastaavan hiilimäärän ilmakehästä. Sen sijaan ihmisen puuttuminen geosykliin, esim. ottamalla käyttöön fossiilisia polttoaineita, vapauttaa ilmakehään hiiltä enemmän kuin kasvillisuus, maaperä ja meret ehtivät sitoa. Ilmakehään jää hiiliyhdisteiden ylijäämä, joka aiheuttaa alailmakehän lämpenemistä.” (26, taso 2->8)*

## 5.2 Vastauksissa esiintyvät hiilen kiertoon liittyvät virheelliset käsitykset

### 5.2.1 Suurin osa virhekäsityksistä liittyi fotosynteesiin tai soluhengitykseen

Ennen demonstraatiota suurin osa virheellisistä käsityksistä liittyi fotosynteesiin (18/85) tai soluhengitykseen (18/85). Muutamilla oli myös hajotustoimintaan (5/85), hiilen varastoihin (4/85) tai hiilen kiertokulkuun (3/85) liittyviä virheellisiä käsityksiä.

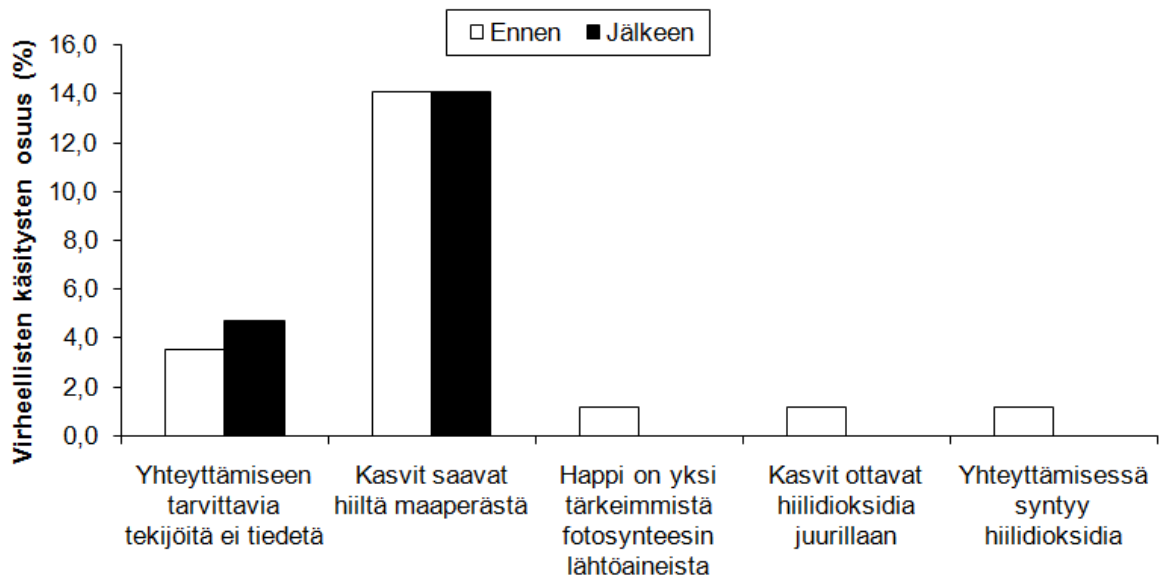
Demonstraatiota jälkeen yleisimmät virhekäsitykset liittyivät edelleen soluhengitykseen (21/85) ja fotosynteesiin (16/85). Kolmanneksi eniten virheellisiä käsityksiä liittyi hajotustoimintaan (8/85). Hiilen varastoihin (1/85) ja hiilen kiertokulkuun (1/85) liittyvät virhekäsitykset olivat harvinaisia demonstraation jälkeen (kuva 16).



Kuva 16. Virheellisten käsitysten lukumäärät luokanopettajaopiskelijoiden vastauksissa (N=85).

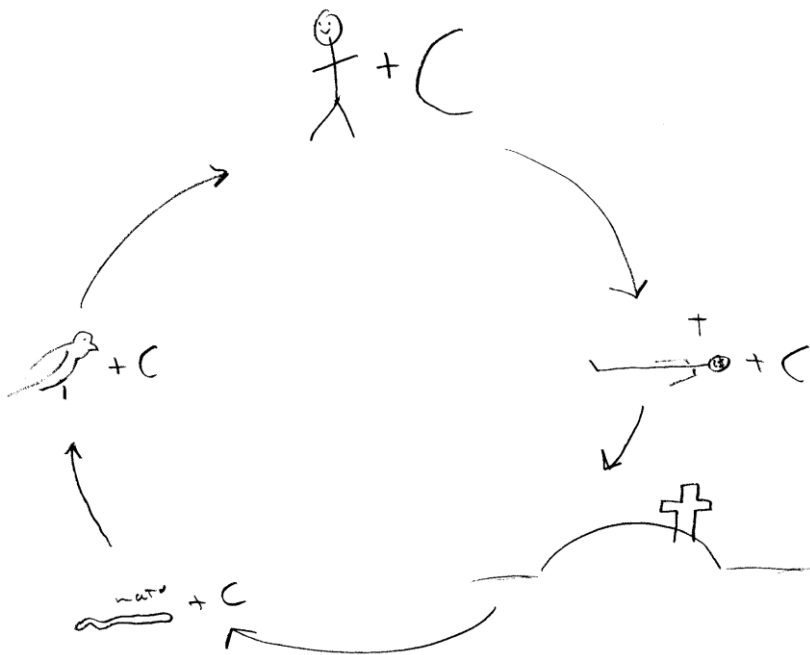
### 5.2.2 Fotosynteesiin liittyvien virheellisten käsitysten frekvenssit

Yli puolet opiskelijoista (45/85) ei maininnut fotosynteesiä lainkaan vastauksissaan demonstraation jälkeenkään (kuva 17). Esimerkiksi opiskelijan (7) piirroksessa ei mainita yhteyttämistä ja kasveja ollenkaan ravintoketjun osana (kuva 18). Osa vastaajista (12/85) ajatteli lisäksi virheellisesti, että kasvit saavat kasvuunsa tarvitsemansa hiilen maaperästä: *kasvit sisältävät hiiltä, koska ovat sitä maaperästä imeneet kasvuunsa* (73), *syömäni ruoka sisältää hiiliatomeja ja ravintoni (esim. vilja) on saanut hiilensä taas maaperästä* (19) ja *globaalisti ajateltuna hiilen kierto menee niin, että maaperässä on hiiltä, jota kasvit käyttävät kasvaessaan* (45) (kuva 19). Yksi vastaaja käytti hiilen sijaan termiä mineraali: *Mineraalit lähtevät maasta ja ruokammekin on alun perin maan mineraaleista lähtöisin. Vuosien saatossa maa tuottaa ihmisravinnoksi kelpavaa ruokaa. Ihmisen kuollessa ruumis maatuu ja muuttuu jälleen maan mineraaleiksi* (29). Vastauksista kävi myös ilmi, että osa yhteyttämisen maininneista vastaajista (4/85) ei tiennyt yhteyttämiseen tarvittavia tekijöitä demonstraation jälkeenkään, vaan esitti ne puutteellisesti tai virheellisesti. Yksittäisillä vastaajilla oli myös seuraavanlaisia virhekäsityksiä fotosynteesiin liittyen: *happi on yksi tärkeimmistä fotosynteesin lähtöaineista, kasvit ottavat hiilidioksidia juurillaan ja yhteyttämässä syntyy hiilidioksidia*.

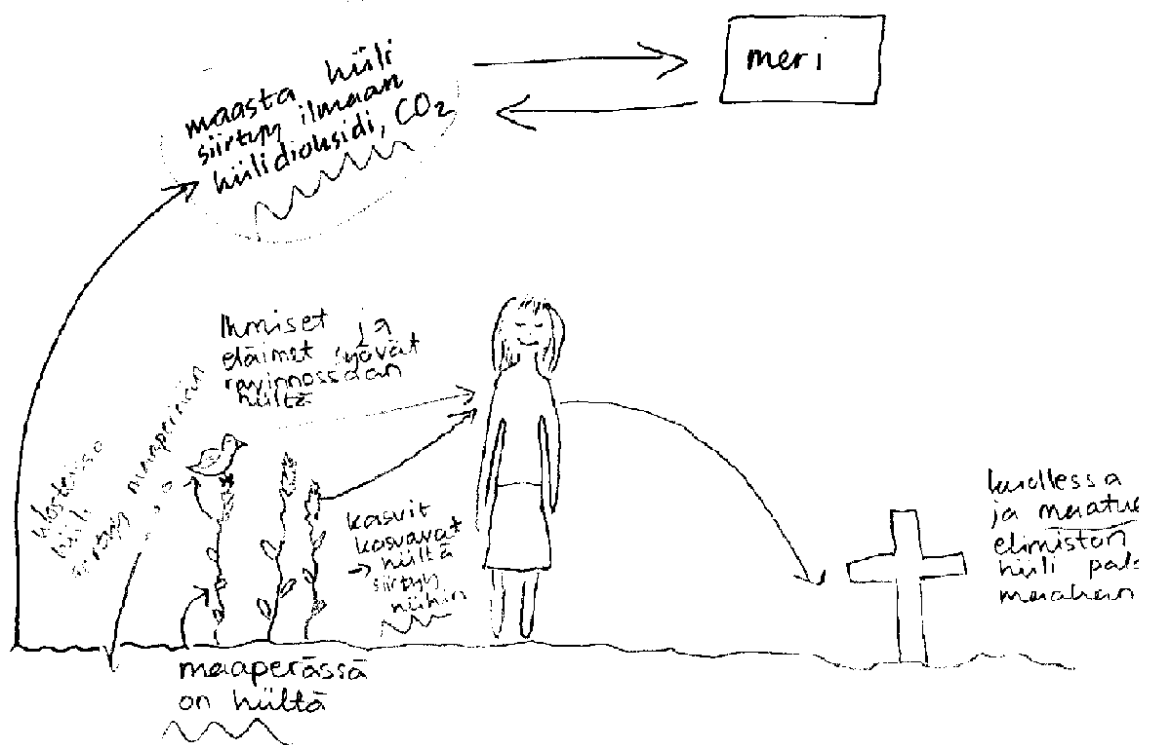


Kuva 17. Fotosynteesiin liittyvien virheellisten käsitysten osuudet vastauksissa ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.

TEE TÄHÄN KAAVIO /PIIROS HIILEN KIERROSTA!



Kuva 18. Opiskelijan (7) piirroksessa hiili kiertää maaperän eliöiden kautta ravintoketjuun.



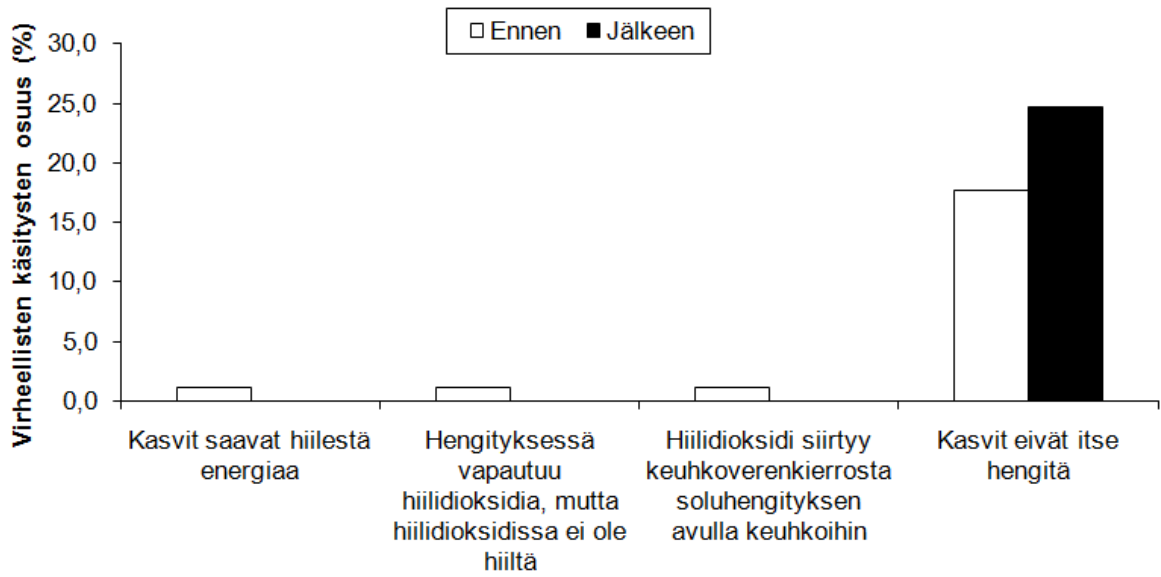
maaperän hiili ja  
öljy → ilmakehään vapautuva  
hiilidioksidi

Kuva 19. Opiskelijan (45) piirroksessa hiili kiertää maaperän kautta kasveille.

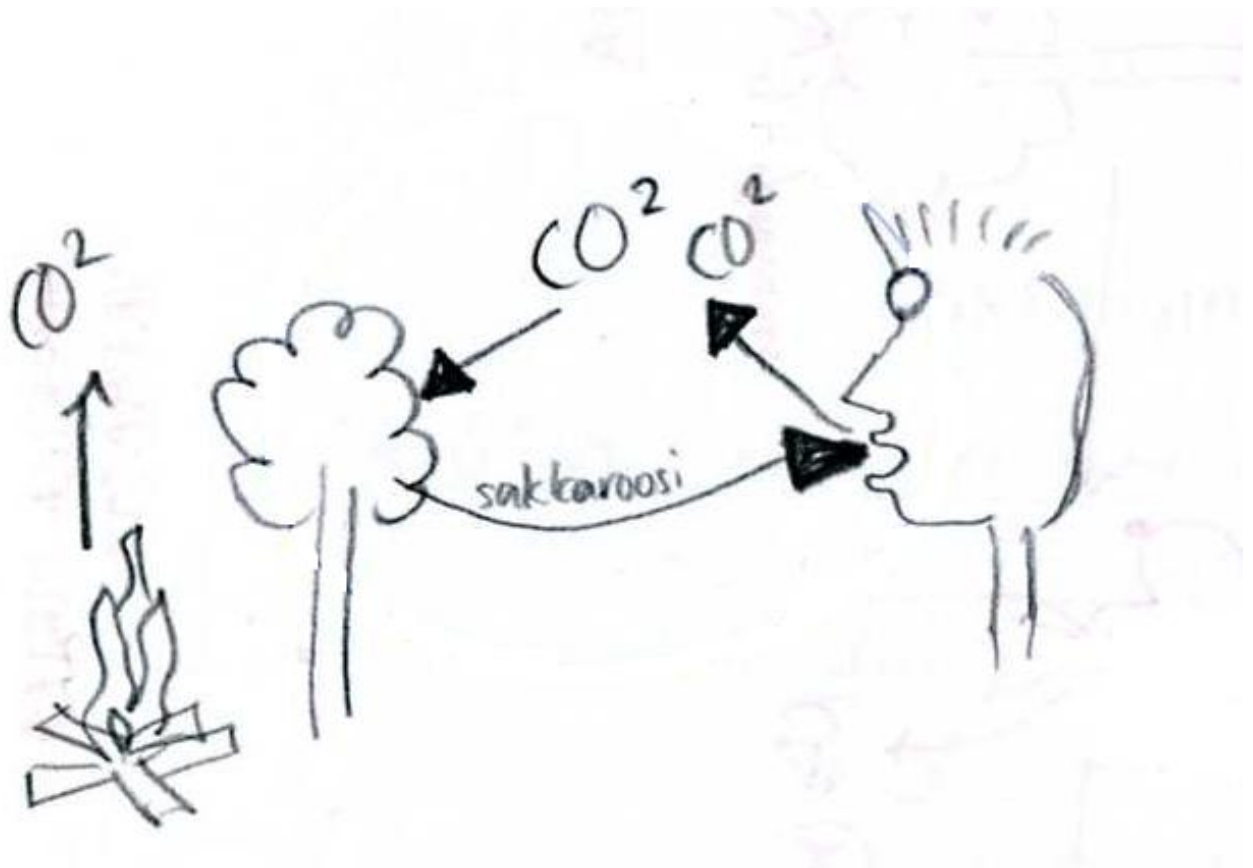
### 5.2.3 Soluhengitykseen liittyvien virheellisten käsitysten frekvenssit

Harva opiskelija oli esittänyt soluhengityksen periaatteen oikein. Opiskelijat kirjoittivat sen sijaan useammin, että *minulla ei ole tarkkaa käsitystä, miten hiilen kierto elimistöni sisällä tapahtuu* (45). Yksi opiskelijoista ajatteli jopa, että *ihminen ei käytä hiiltä, vaan se poistuu ihmisen hengityksen mukana ulos hiilidioksidina* (49). Hengitys ja soluhengitys termeinä olivat myös epäselviä ja saattoivat sekaantua keskenään. Yksi opiskelijoista esimerkiksi erotti termit toisistaan, mutta ymmärsi soluhengityksen väärin: *keuhkoverenkierrosta hiilidioksidi siirtyy soluhengityksen avulla keuhkoihin, josta se vapautuu uloshengittäessä* (25). Eräs opiskelijoista taas ei ymmärtänyt hiiliyhdisteidenkin sisältävän hiiliatomeja: *hengittämisen kanssa sillä ei varmaan ole tekemistä, koska hengityksessä on hiilidioksidia, ei hiiltä* (21) (kuva 20).

Soluhengityksen periaatteen heikon ymmärryksen vuoksi neljännes opiskelijoista (21/85) ajatteli vielä demonstraation jälkeenkin, että kasvit eivät itse hengitä. Selkeimmin tämä kävi ilmi opiskelijoiden piirroksista, joissa kasveista itsestään ei vapaudu hiilidioksidia (kuva 21).



Kuva 20. Soluhengitykseen liittyvien virheellisten käsitysten osuudet vastauksissa ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.

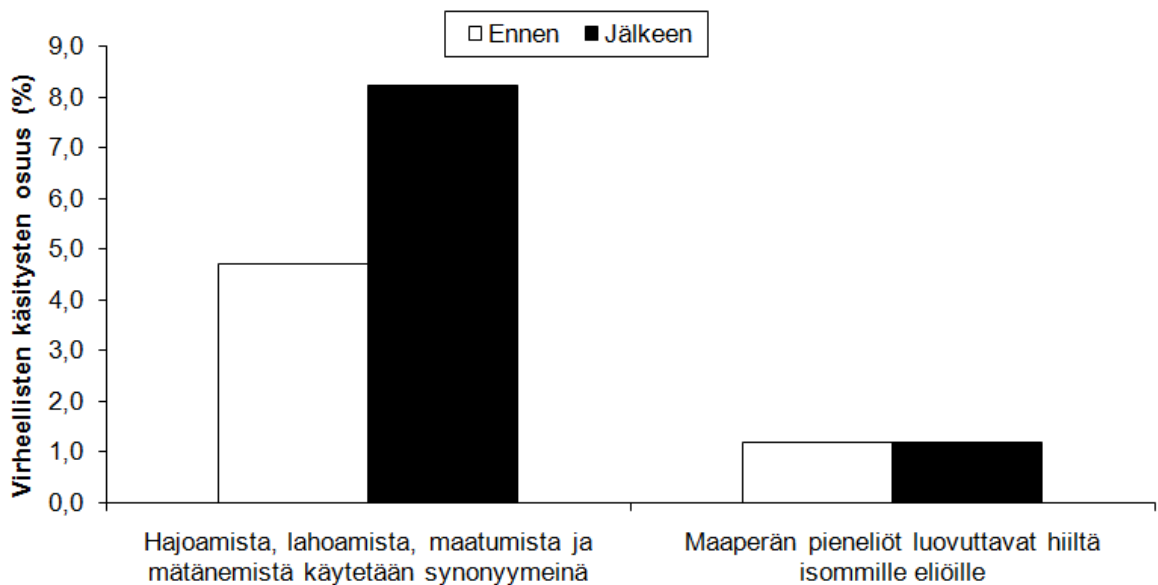


Kuva 21. Opiskelijan (46) piirroksessa hiilidioksidia muodostuu palamisessa ja vapautuu ihmisen uloshengityksessä, mutta kasvit eivät itse tuota hiilidioksidia.

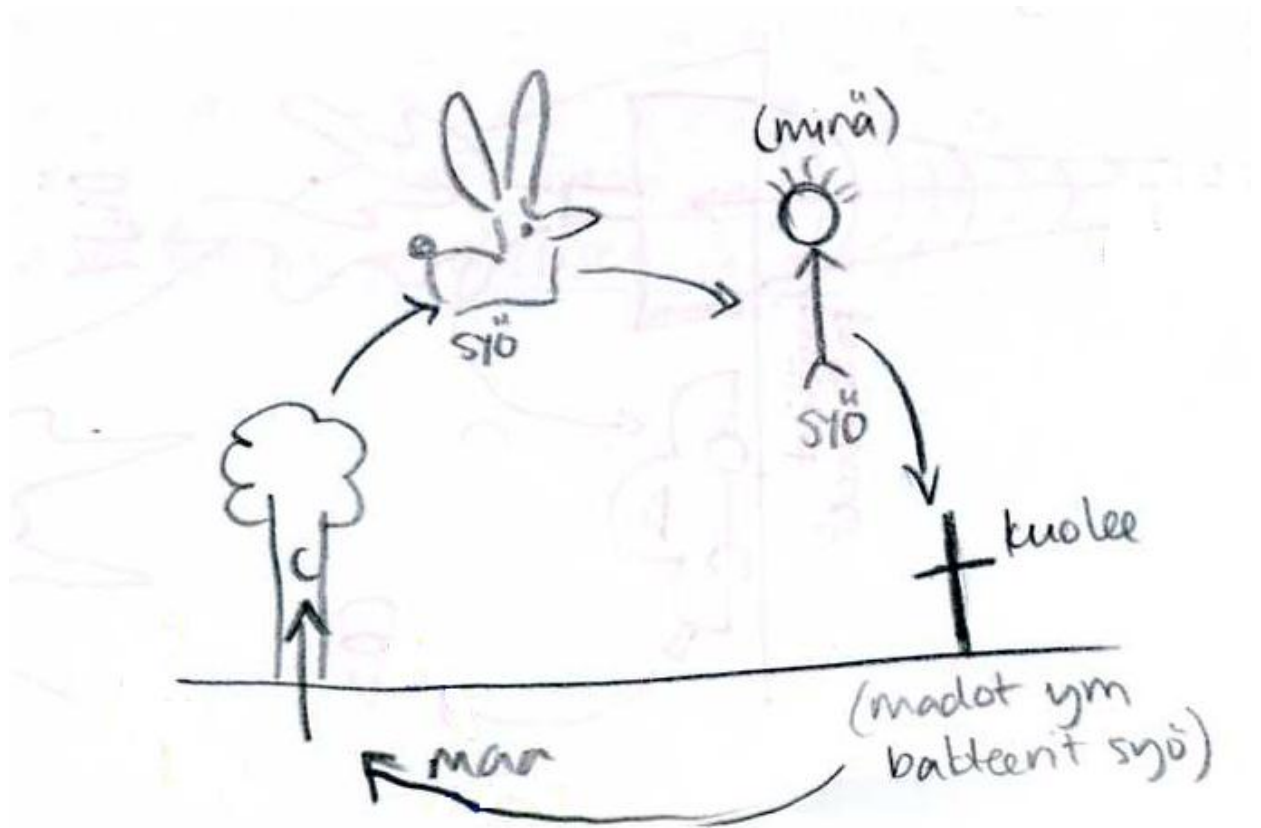


#### 5.2.4 Hajotustoimintaan liittyvien virheellisten käsitysten frekvenssit

Hajotustoiminnan periaatetta ei selittänyt tarkasti yksikään luokanopettajaopiskelijoista. Termejä hajoaminen, lahoaminen, maatuminen ja mätäneminen ei osattu käyttää oikein ja niitä käytettiin toistensa synonyymeina (kuva 22). Moni opiskelija (27/85) kirjoitti, että eliön kuollessa hiiltä vapautuu maaperään ja sisällytti samalla vastaukseensa myös virheellisen käsityksen fotosynteesin lähtöaineiden alkuperästä. Virheellisen käsityksen mukaan kasvit ottavat kasvuunsa tarvitsemansa hiilen maaperästä ilmakehän hiidioksidin sijaan. Tällöin virheellisen käsityksen omaava opiskelija saattoi ajatella, että hajotustoiminnan seurauksena maaperään vapautui hiiltä sellaisessa muodossa, jota kasvit edelleen imivät juurillaan kasvaakseen: *hiiliatomit kiertävät elollisessa ympäristössä siten, että yksilön kuollessa hiiliatomit siirtyvät maatumisen yhteydessä seuraavaan eliöön* (11) tai kun kuolen, *minusta hajoaa maahan palasiksi aineita kuten hiiltä, josta kasvit ja puut saavat energian ja elinvoimaa* (46) (kuva 23). Tämän virheellisen käsityksen yleisyyteen viittaa myös se, että demonstraation jälkeenkin vain vajaa neljännes vastaajista oli maininnut, että hajotustoiminnan seurauksena hiiltä vapautuu hiilidioksidina ilmakehään.



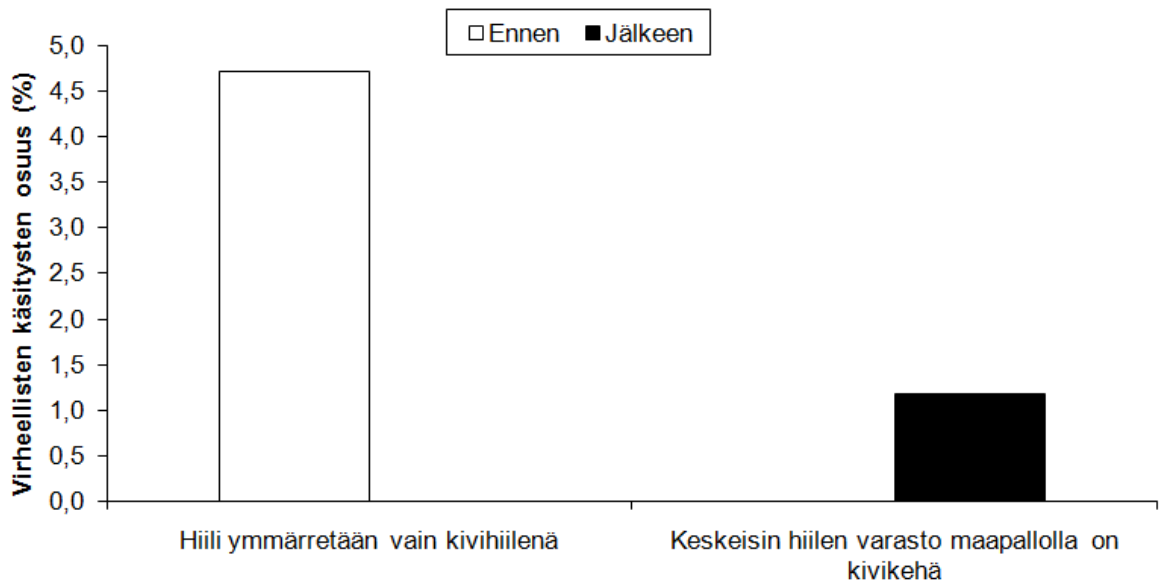
Kuva 22. Hajotustoimintaan liittyvien virheellisten käsitysten osuudet vastauksissa ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.



Kuva 23. Opiskelijan (46) piirroksessa matojen ja bakteerien ym. hajotustoiminnan seurauksena maaperään vapautuu hiiltä, jota kasvit edelleen imevät juurillaan.

### 5.2.5 Hiilen varastoihin liittyvien virheellisten käsitysten frekvenssit

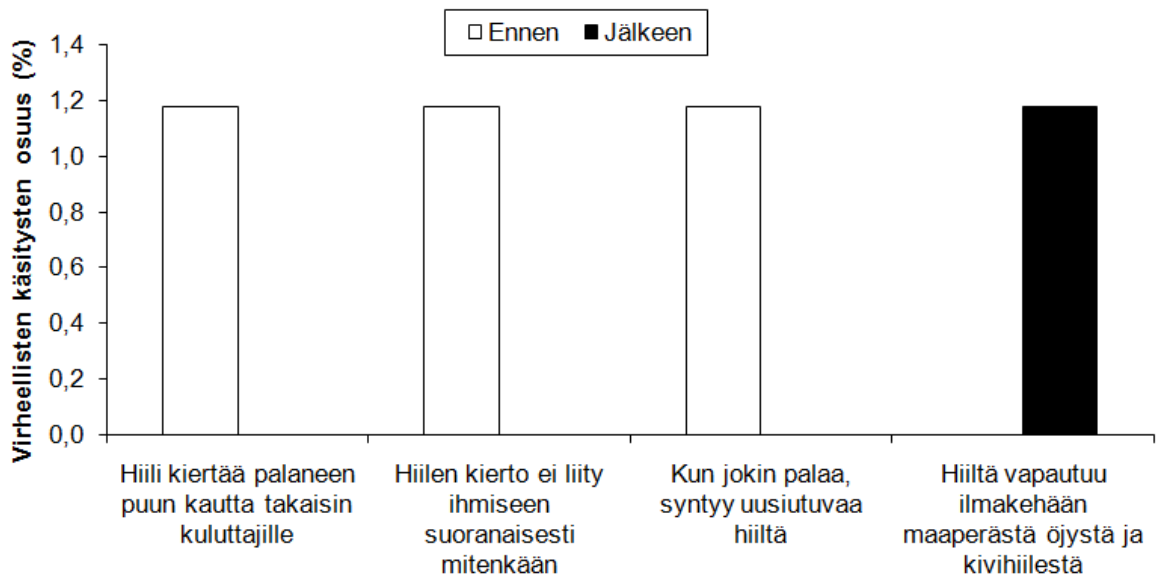
Opiskelijat eivät suoranaisesti maininneet hiilen varastoja vastauksissaan ennen demonstraatiota. Neljä vastaajista käsitteli hiiltä kuitenkin vain kivi- tai puuhiilenä, eikä osannut ajatella hiiliyhdisteitä monipuolisemmin: *hiiltä syntyy maan sisällä. - - Ihminen on tehnyt hiilikaivoksia, joissa hiiltä louhitaan ihmisen käyttöön. Ihminen käyttää hiiltä hyödykseen monilla tavoilla, kuten lämmityksessä ja polttoaineena* (32). Demonstraation jälkeen yhdellä opiskelijajoista oli virheellinen käsitys, jonka mukaan kivikehä toimii hiilen keskeisimpänä varastona maapallolla (kuva 24). Yksi vastaajista esitti lisäksi virheellisesti, että hiilidioksidi ei sisällä hiiltä: *hengittämisen kanssa sillä ei varmaan ole tekemistä, koska hengityksessä on hiilidioksidia, ei hiiltä. Hiiltä syntyy esimerkiksi polttamalla puuta. Hiili on mustaa* (21).



Kuva 24. Hiilen varastoihin liittyvien virheellisten käsitysten osuudet vastauksissa ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.

### 5.2.6 Hiilen kiertokulkuun liittyvien virheellisten käsitysten frekvenssit

Yksittäisillä opiskelijoilla oli hiilen kiertokulkuun liittyviä virheellisiä käsityksiä ennen demonstraatiota. Demonstraatioon jälkeen vain yhdellä opiskelijalla oli virheellinen käsitys, jonka mukaan hiiltä vapautuu ilmakehään maaperästä öljystä ja kivihiilestä (kuva 25).



Kuva 25. Hiilen kiertokulkuun liittyvien virheellisten käsitysten osuudet vastauksissa ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.

## 5.3 Systemiajattelun tasot

### 5.3.1 Kahdeksan tasoa hiilen kierron ymmärtämiseksi

Mallivastauksen ”Minä ja hiilen kierto” avulla muodostettiin seuraavat kahdeksan systemiajattelun tasoa:

**0 Vastaajalla ei ole systeemiajattelua eikä kokonaiskuvaa hiilen kierrosta.**

Vastaaja ei tiedä mitään hiilen kierrosta tai tiedot ovat virheellisiä.

*Esimerkki opiskelijan ajattelusta tasolla 0:*

*”Ympäristötiedon opetus ei ole mennyt minulla peruskoulussa ymmärryksen tai ajattelun tasolle. - - Mineraalit lähtevät maasta ja ruokammekin on alun perin maan mineraaleista lähtöisin. Vuosien saatossa maa tuottaa ihmisravinnoksi kelpaavaa ruokaa. Ihmisen kuollessa ruumis maatuu ja muuttuu jälleen maan mineraaleiksi.” (29)*

**1 Vastaaja osaa nimetä hiilen kierron osia (fossiiliset polttoaineet, hiilidioksidi, kuluttajat) ja prosesseja (fotosynteesi, soluhengitys, ravintoketju, hajotustoiminta, palaminen).**

Vastaukseen sisällytetyt osat ja prosessit esiintyvät irrallisina. Prosessi on voitu selittää virheellisesti.

*Esimerkki opiskelijan ajattelusta:*

*”Täytyy heti alkuun tunnustaa, ettei tehtävänanto herätä juurikaan ajatuksia. On suorastaa häpeällistä myöntää se. Hiili-sanasta tulee ensimmäisenä mieleen energiantuotanto, palaminen, luonnonvarat, toisaalta hiilidioksidi elimistöstä poistuvana yhdisteenä. Näiden asioiden verkostoitumista ja järkevää toisiinsa linkittymistä on nykyisillä tiedoillani melko vaikea toteuttaa.” (24)*

**2 Vastaaja osaa tunnistaa hiilen kierron osien ja prosessien välisiä yhteyksiä (soluissa syntyy soluhengityksen tuloksena hiilidioksidia, jota kasvit käyttävät fotosynteesissä tuottaakseen sokeria ja hapetta auringon energian ja veden avulla; metsien hakkaaminen ja kasvipinta-alan pieneneminen lisäävät ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta).**

Vastauksessa eivät esiinny kaikki hiilen kiertoon olennaisesti kuuluvat osat ja prosessit, vaikka jotkut niiden välisistä yhteyksistä on selitetty oikein.

*Esimerkki opiskelijan ajattelusta:*

*”Hiiltä on ilmakehän hiilidioksidissa ja maaperässä. Kasvit käyttävät ilman hiilidioksidia yhteyttämiseen, jolloin hiili päätyy kasvin rakenteisiin tai sen varastoimiin sokereihin. Kun eläin (myös ihminen, esim. minä) syö kasvin, hiili siirtyy eläimeen. Hiili jatkaa kulkuaan ravintoketjun huipulle. Kun ravintoketjun huipulla oleva kuolee, hajottajat vapauttavat hiilen maaperään tai hiilidioksidina ilmaan. Eläimet käyttävät hiiliyhdisteitä rakennusaineinaan ja energianlähteinään. Soluhengityksessä vapautuvat hiilidioksidi poistuu hengityksen mukana ilmakehään. Hiiltä poistuu eläimistä myös ulosteen mukana.” (16)*

**3 Vastaaja kykenee selittämään hiilen kierron osien ja prosessien väliset yhteydet ja järjestämään ne johdonmukaiseksi kokonaisuudeksi.**

Vastaus sisältää hiilen kierron olennaisimmat osa-alueet ja ne on linkitetty loogisena jatkumona toisiinsa.

*Esimerkki opiskelijan ajattelusta:*

*”Hiiltä on sitoutuneena öljyyn ja muihin polttoaineisiin. Kun hiiltä poltetaan tai käytetään fossiilisia polttoaineita, ilmakehään vapautuu hiilidioksidia. Hiiltä on sitoutuneena myös maapallon kasvipeitteeseen, joka käyttää ilman hiilidioksidia yhteyttämiseen. Auringon valo ja hiilidioksidi synnyttävät hapetta ja sokeria ja saadaan energiaa. Metsiä kaadettaessa hiilidioksidia sitovan kasvipeitteen määrä vähenee, mikä lisää ilman hiilidioksidipitoisuutta. Jos tilalle kasvaa uusi metsä, se sitoo päästöä vastaavan hiilimäärän ilmakehästä. Toisaalta kasvien myös lahoamistuotteena tai esim. käytettäessä puuta energiantuotantoon, niihin sitoutunut hiilidioksidi vapautuu ilmaan. Maaperään hiili on tullut aikojen kuluessa kasvipeitteen mukana. - -*

*Monet merissä olevat eliöt käyttävät happaman sadeveden liuottamia mineraaleja ja niiden kuoltua mineraalit painuvat eliöiden mukana merenpohjan kerrostumiin. Tietyissä oloissa eloperäisistä kerrostumista muodostuu öljyä tai maakaasua. Turpeen eloperäisestä aineesta muodostuu suuressa paineessa ensin ruskohiiltä ja sitten kivihiiltä.*

*Nopeaan hiilen kiertoon eli biosykliin kuulu kierto elottoman ja elollisen luonnon välillä. Viherhiukkasia sisältävät kasvit sitovat ilmakehän hiilidioksidia fotosynteesissä -> eläimet syövät kasveja ja saavat hiiliyhdisteitä rakennusaineikseen. Soluhengityksessä energiaa vapautuu solun toimihintoihin ja hiilidioksidi siirtyy hengityksessä ilmakehään. Bakteerit ja sienet hajottavat kuolleet kasvit ja eläimet -> hiiltä hajottajien rakennusaineksi ja hiiltä ilmakehään hajottajien soluhengityksessä. (26)*

#### **4 Vastaaja osaa tehdä hiilen kiertoa koskevia yleistyksiä.**

Vastauksesta voi päätellä, että vastaaja kykenee yleistämään kuvaamiaan ilmiöitä itsestä muihin ihmisiin ja eläinyksilöihin, kansakuntiin ja populaatioihin, ekosysteemeihin ja lopulta globaalille tasolle.

*Esimerkki opiskelijan ajattelusta:*

*Ihmisen toiminta biosyklin rajoissa ei juurikaan muuttaisi ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta. Esim. polttamalla puuta palautamme sieltä lyhyen aikaa poissa ollutta hiilidioksidia. Hakkuun jälkeen uusiutuva metsä sitoo päästöä vastaavan hiilimäärän ilmakehästä. Sen sijaan ihmisen puuttuminen geosykliin, esim. ottamalla käyttöön fossiilisia polttoaineita, vapauttaa ilmakehään hiiltä enemmän kuin kasvillisuus, maaperä ja meret ehtivät sitoa. (26)*

#### **5 Vastaaja ymmärtää, että hiilen kierto on dynaaminen ja syklinen ilmiö, jossa muutokset yhdessä kohdassa kiertoa johtavat muutoksiin myös toisaalla (jos fossiilisiin polttoaineisiin sitoutunutta hiiltä vapautetaan palamisreaktiossa, se siirtyy johonkin toiseen hiilen varastoon).**

Vastauksesta käy ilmi vähintään yhden esimerkin kautta, että hiili kiertää eri varastojen välillä sen kokonaisuutensa pysyessä kuitenkin vakiona.

*Esimerkki opiskelijan ajattelusta:*

*”Metsiä kaadettaessa hiilidioksidia sitovan kasvipeitteen määrä vähenee, mikä lisää ilman hiilidioksidipitoisuutta. Jos tilalle kasvaa uusi metsä, se sitoo päästöä vastaavan hiilimäärän ilmakehästä. - Ihmisen käytössä maaperän hiilivarat vähitellen loppuvat, koska sen syntymiseen on kulunut pitkä aika. - - Geosyklissä hiili viipuu jopa miljoonia vuosia. Ilman ihmisen vaikutusta hiili vapautuu geosyklissä hyvin hitaasti ilmakehään.*

*Nopeaan hiilen kiertoon eli biosykliin kuulu kierto elottoman ja elollisen luonnon välillä. Viherhiukkasia sisältävät kasvit sitovat ilmakehän hiilidioksidia fotosynteesissä ->*

eläimet syövät kasveja ja saavat hiiliyhdisteitä rakennusaineikseen. Soluhengityksessä energiaa vapautuu solun toimihintoihin ja hiilidioksidi siirtyy hengityksessä ilmakehään. Bakteerit ja sienet hajottavat kuolleet kasvit ja eläimet -> hiiltä hajottajien rakennusaineeksi ja hiiltä ilmakehään hajottajien soluhengityksessä.

Ihmisen toiminta biosyklin rajoissa ei juurikaan muuttaisi ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta. Esim. polttamalla puuta palautamme sieltä lyhyen aikaa poissa ollutta hiilidioksidia. Hakkuun jälkeen uusiutuva metsä sitoo päästöä vastaavan hiilimäärän ilmakehästä. Sen sijaan ihmisen puuttuminen geosykliin, esim. ottamalla käyttöön fossiilisia polttoaineita, vapauttaa ilmakehään hiiltä enemmän kuin kasvillisuus, maaperä ja meret ehtivät sitoa. Ilmakehään jää hiiliyhdisteiden ylijäämä, joka aiheuttaa alailmakehän lämpenemistä.” (26)

**6 Vastaaja osaa tunnistaa hiilen kiertoon kätkeytyneet tekijät (fotosynteesin lähtöaineena ovat ilmakehän hiilidioksidimolekyylit, maahengitys on hajottajaorganismien soluhengityksen tulosta).**

Vastaukseen on sisällytetty selitykset myös niistä hiilen kierron osista ja prosesseista, jotka eivät ole suoraan nähtävissä.

*Esimerkki opiskelijan ajattelusta:*

”Esimerkiksi ihmisen energiantuotto perustuu hiilen kiertoon. Ihminen saa ravintonsa energiaravintoaineista, jotka ovat hiilivetyjä. Energia vapautuu hapettamalla niitä, reaktiotuotteena syntyy hiilidioksidia, jonka me sitten hengitämme ympäröivään ilmaan. Kasvit käyttävät hiilidioksidia yhteyttämiseen, jonka reaktiotuotteena syntyy hiilivetyjä ja happea. Juuri noita hiilivetyjä ihminen voi käyttää ravinnokseen ja happea energiantuotantonsa. Hiilen kiertoon kuuluu myös esimerkiksi fossiiliset polttoaineet. Ne ovat syntyneet elävistä olioista ja niihin on varastoitunut kemiallista energiaa. niitä polttamalla ihminen vapauttaa ilmakehään hiilidioksidia, jota taas kasvit käyttävät yhteyttämiseen. Hiilen kierrossa aine ei katoa, se vain on sitoutunut erilaisiin molekyyliin.” (79)

**7 Vastaaja ymmärtää, että alkuaineet kuten hiili, kiertävät maapallolla (aineen häviämättömyyden laki). Hiilen globaali kierto voidaan jakaa myös pienempiin kiertoihin (hiilen kierto fotosynteesin, ravintoverkon ja hajotustoiminnan kautta; hiilen kierto maaperän esiintymistä tulivuorenpurkausten tai fossiilisten polttoaineiden käytön kautta ilmakehään).**

Vastauksesta käy ilmi, että hiili on jatkuvassa kiertokulussa ja muuttuu olomuodosta toiseen.

*Esimerkki opiskelijan ajattelusta:*

”Aineet ovat maapallolla kierrossa, energiaa tulee auringosta – maapallo on energiavirran suhteen avoin, mutta aineen kierron suhteen suljettu systeemi. Hiilen kierrossa hiili on joko varastoituneena tai siirtymässä varastoitumismuodosta toiseen. Varastot ovat eri kestoisia (vrt. kasvi ja timantti tai öljy) Hiili kiertää elottoman ja elollisen luonnon välillä.” (46)

**8 Vastaaja ymmärtää, että hiilen kierrossa on myös ajallinen perspektiivi: Osa hiilen kierron nykyisestä toiminnasta ja tilasta on seurausta menneistä tapahtumista ja**

***tulevaisuuden hiilen kierto voi olla seurausta nykyisistä vuorovaikutuksista. Vastaaja osaa tehdä ennusteita hiilen kierron tulevaisuudesta.***

Vastaukseen on esimerkiksi sisällytetty ajatus siitä, että fossiiliset polttoaineet ovat syntyneet hyvin pitkän ajan kuluessa, eivätkä ne ennen ihmistoimintaa ole juurikaan osallistuneet globaaliin hiilen kiertoon (tulivuorenpurkauksia lukuun ottamatta). Ihminen on toiminnallaan muuttanut hiilen kierron tasapainoa, minkä seurauksena maapallon keskilämpötila on noussut.

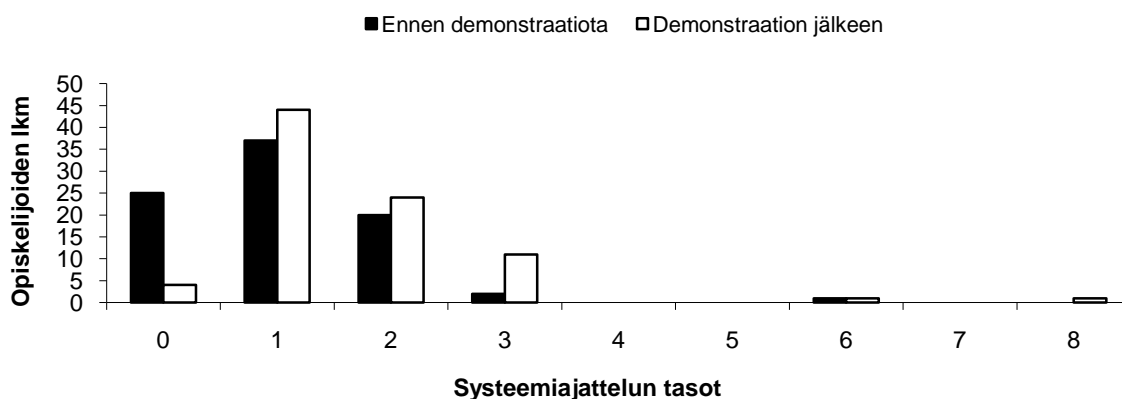
*Esimerkki opiskelijan ajattelusta:*

*”Ihmisen toiminta biosyklin rajoissa ei juurikaan muuttaisi ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta. Esim. polttamalla puuta palautamme sieltä lyhyen aikaa poissa ollutta hiilidioksidia. Hakuun jälkeen uusiutuva metsä sitoo päästöä vastaavan hiilimäärän ilmakehästä. Sen sijaan ihmisen puuttuminen geosykliin, esim. ottamalla käyttöön fossiilisia polttoaineita, vapauttaa ilmakehään hiiltä enemmän kuin kasvillisuus, maaperä ja meret ehtivät sitoa. Ilmakehään jää hiiliyhdisteiden ylijäämä, joka aiheuttaa alailmakehän lämpenemistä.” (26)*

### 5.3.2 Luokanopettajaopiskelijoiden vastausten sijoittuminen systeemiajattelun tasoille

Jokaisen luokanopettajaopiskelijan vastaus luokiteltiin systeemiajattelun tasoihin kahteen kertaan siten, että ensimmäinen luokittelu perustui ennen demonstraatiota tuotettuun tesktiin ja piirroksiin ja toinen lopulliseen, demonstraation jälkeiseen tuotokseen. Luokittelussa huomioitiin voimakkaat virhekäsitykset ja ristiriitaiset vastaukset.

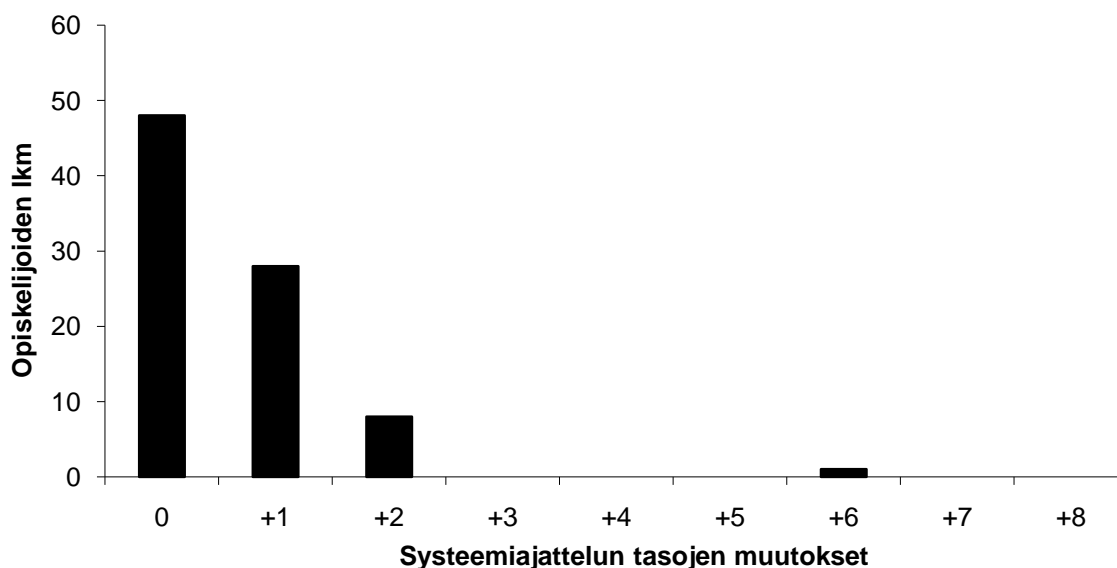
Ennen demonstraatiota tehtyjen tuotosten perusteella suurin osa luokanopettajaopiskelijoista sijoittui tasoille 0-2. Kaksi opiskelijaa sijoittui tasolle 3 ja yksi tasolle 6. Demonstraation jälkeen luokanopettajaopiskelijat sijoittuivat systeemiajattelun tasoille alkutilannetta paremmin. Tasolle 0 sijoittui enää neljä opiskelijaa alkuperäisen 25:n sijaan. Tasolle 3 sijoittui 11 opiskelijaa kahden sijaan, ja yksi opiskelija saavutti jopa korkeimman tason 8 (kuva 26).



Kuva 26. Luokanopettajaopiskelijoiden (N=85) systeemiajattelun tasot ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen.

Vertailtaessa yksittäisten opiskelijoiden suoriutumista ennen demonstraatiota ja demonstraation jälkeen havaittiin, että suurimmalla osalla (48/85) systeemiajattelun tasossa ei tapahtunut muutosta. Kolmasosalla vastaajista (28/85) systeemiajattelu parani yhdellä tasolla ja kahdeksalla vastaajalla muutos oli kaksi tasoa. Yhdellä opiskelijalla muutos oli

jopa 6 tasoa systeemiajattelun tason ollessa ennen demonstraatiota 2 ja demonstraation jälkeen 8 (kuva 27).



Kuva 27. Yksittäisten opiskelijoiden systeemiajattelun tason kehitys demonstraation jälkeen.

## 6 TULOSTEN TARKASTELU

### 6.1 Millainen oli luokanopettajaopiskelijoiden ymmärrys hiilen kierrosta?

#### 6.1.1. Opiskelijoiden kokonaiskuvat hiilen kierrosta

Aiemmin esitettyjen tulosten perusteella luokanopettajaopiskelijoiden käsitykset hiilen kierrosta olivat valtaosin puutteellisia, hajanaisia ja verkostoitumattomia ja käsityksissä esiintyi myös runsaasti virheitä. Luokanopettajaopiskelijoiden vastaukset sijoituivat demonstraation jälkeen systeemiajattelun tasoille pääosin heikosti siten, että osalla opiskelijoista ei ollut lainkaan käsitystä hiilen kierrosta, osalla käsitykset olivat puutteellisia tai virheellisiä, pienellä osalla oli jonkinlainen kokonaiskäsitelmä kierrosta ja vain kahdella opiskelijalla oli kattava tietämys aiheesta. Tulosten tarkastelua varten systeemiajattelun tasot jaettiin neljään luokkaan edellä esitetyllä tavalla. Luokkaan ”Ei käsitystä hiilen kierrosta” sijoittui lopulta neljä systeemitason 0 opiskelijaa. Luokka ”Puutteellinen käsitys hiilen kierrosta” muodostettiin systeemitasoista 1-2 ja sille sijoittui lopulta 68 opiskelijaa. Luokka ”Hyvä käsitys hiilen kierrosta” sisälsi lopulta 11 systeemitason 3 opiskelijaa ja luokka ”Erinomainen käsitys hiilen kierrosta” kaksi tasoja 6-8 opiskelijaa.

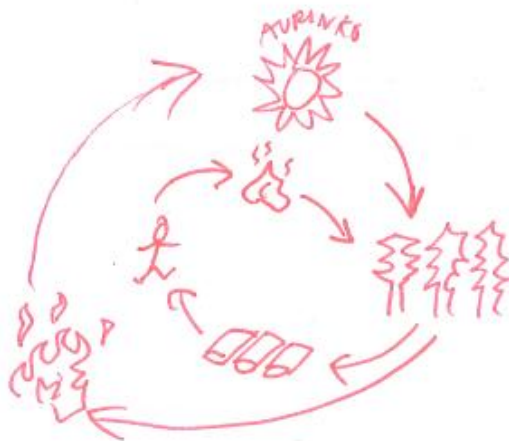
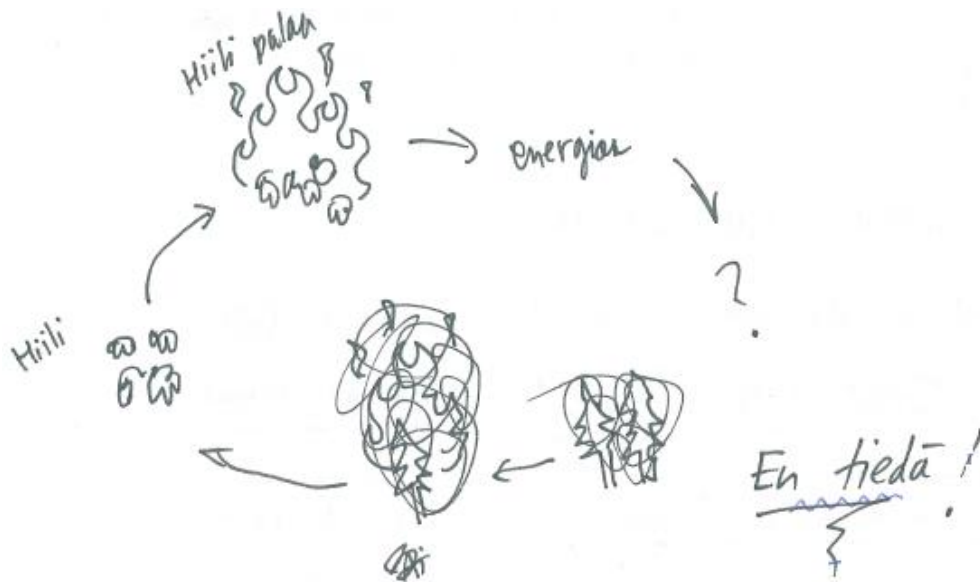
#### 6.2.2. Ei käsitystä hiilen kierrosta

Luokkaan Ei käsitystä hiilen kierrosta sijoittuneiden neljän opiskelijan vastaukset olivat hyvin suppeita ja käsittivät vain muutaman lauseen. Yksi vastaajista ei kirjoittanut tai piirtänyt mitään ennen demonstraatiota ja totesi demonstraation jälkeen vain, että *eipä ollut minkäänlaista mielikuvaa asiasta tuon otsikon perusteella, kun katseli netistä, muistui asia mieleen* (50). Lisäksi hän kritisoi tutkimuslomakkeen otsikkoa: *tuo nimi/otsikko oli tosi*



*hämäävä* (50). Toinenkaan opiskelija ei tehnyt hiilen kiertoa kuvaavaa piirrosta, vaikka sitä pyydettiin tehtävänannossa. Hän kirjoitti ennen demonstraatiota, ettei *tiedä mitä hiilen kiertoon liittyy* (57) ja jatkoi hiili-sanasta mieleen tulevilla asioilla: *Hiili on minulle tuttu poltetuista puista. On olemassa hiilitabletteja, ne neutraloivat vatsaa. Onkohan hiili palamisen lopputulos? Onko tuhka ja hiili sama asia* (57)? Demonstraation jälkeen hän oli täydentänyt vastaustaan toteamalla pelkästään, että *erilaiset aineet kiertävät maapallolla* (57).

Kaksi luokan vastaajista oli käsitellyt hiiltä vain puu- tai kivihiilenä. Molempien vastauksiin sisältyi kuitenkin virheellisiä ajatuksia puu- ja kivihiilen uusiutuvuudesta ja synnystä. Toinen vastaajista kirjoitti, että *kun hiili palaa, syntyy uusiutuvaa hiiltä* (23). Piirroksessaan hän ei ollut kuitenkaan osannut selittää, miten hiili uusiutuu (kuva 28). Toisen opiskelijan mukaan *kerran käytetty hiili ei palaa luontoon suoraan, vaan sitä syntyy lisää ainoastaan tietyssä syvyydessä maan sisällä* (32). Esimerkistä käy hyvin ilmi, miten käsitys hiilestä vain kivihiilenä rajoitti opiskelijan ajattelua.



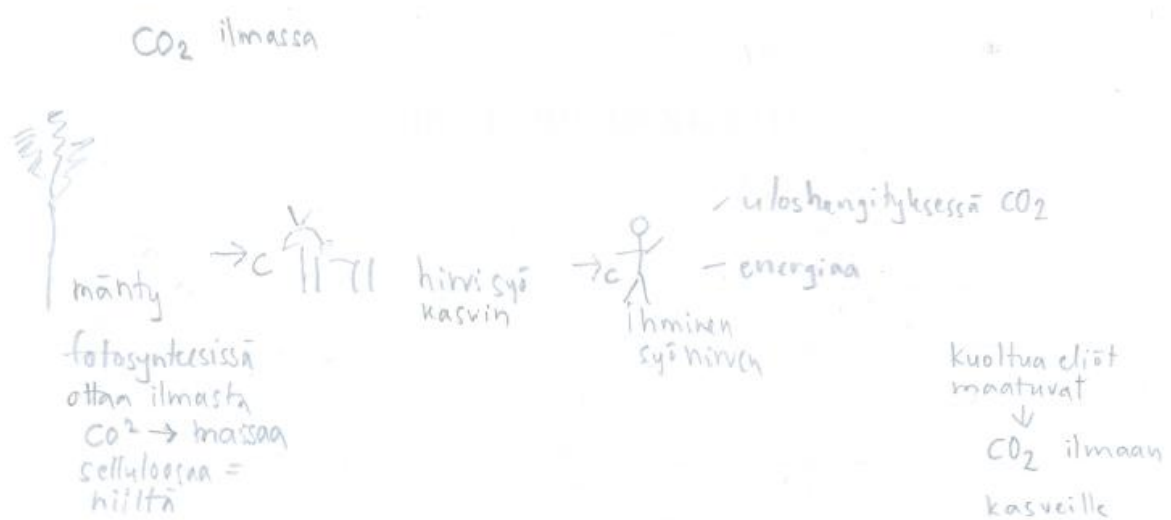
Kuva 28. Opiskelija (23) ei ole osannut täydentää tiedonhankinnan jälkeenkään ennen demonstraatiota piirtämäänsä kuvaa hiilen kierrosta.

Vastaajien muutaman lauseen tuotoksista oli nähtävissä, ettei aihe tai siihen perehtyminen kiinnostanut heitä. Tähän viittaa ennen kaikkea se, etteivät he edes kopioineet demonstraation tai internet-sivustojen tietoja vastauksiinsa.

### 6.2.3 Puutteellinen käsitys hiilen kierrosta

Luokan Puutteellinen käsitys hiilen kierrosta opiskelijoilla oli monenlaisia tieteellisiä käsityksiä hiilen kierrosta, kuten *hiili on eräs yleisimpiä alkuaineita luonnossa* (3), *yhteyttämisessä kasvi muodostaa veden, auringonvalon ja ilman hiilidioksidin avulla sokeria* (28) ja *hiilen polttaminen energianlähteenä siirtää ilmaan hiilidioksidia* (84). Käsityksiä oli kuitenkin lueteltu jäsentymättömästi, eikä niitä osattu yhdistää toisiinsa. Yksi opiskelijoista totesikin: *näiden asioiden verkostoitumista ja järkevää toisiinsa linkittymistä on nykyisillä tiedoillani melko vaikea toteuttaa* (24).

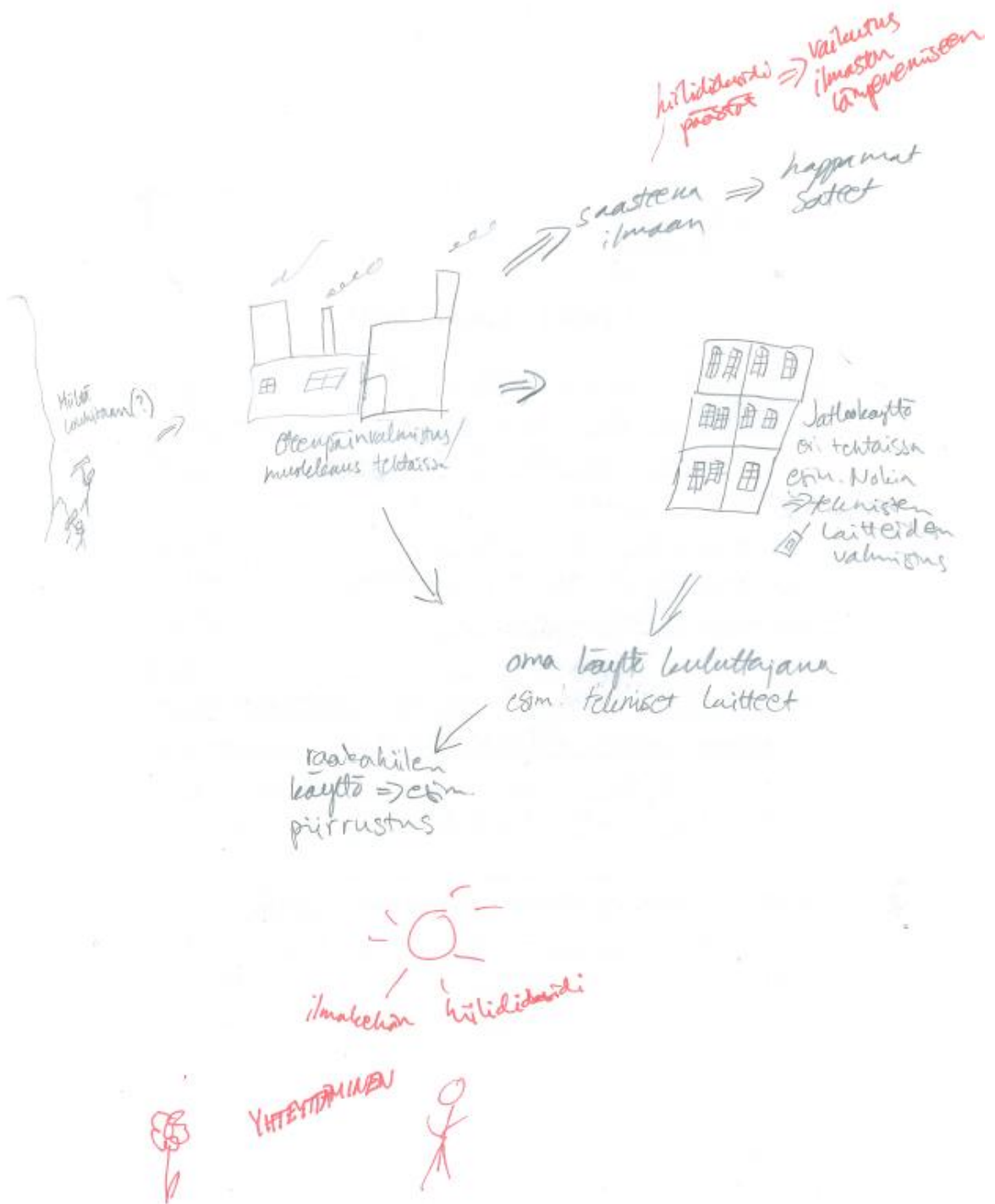
Hiilen kiertoa käsiteltiin useimmiten yksipuolisesti siten, että vastauksissa keskityttiin joko hiilen osuuteen fotosynteesissä ja edelleen ravintoverkoissa (kuva 29), fotosynteesin ja soluhengityksen yhteyteen hiilidioksidin kautta (kuva 30), hiileen fossiilisenä polttoaineena tai teollisuuden raaka-aineena (kuva 31) tai hiilen varastoihin ja kiertokulkuun varastojen välillä (kuva 32). Osaan vastauksista oli lisäksi sisällytetty hiilen kierron kannalta epäolennaisia tietoja, kuten *suurin osa ilmasta on happea ja typpeä, sisältää myös argonia ja muita kaasuja* (4).



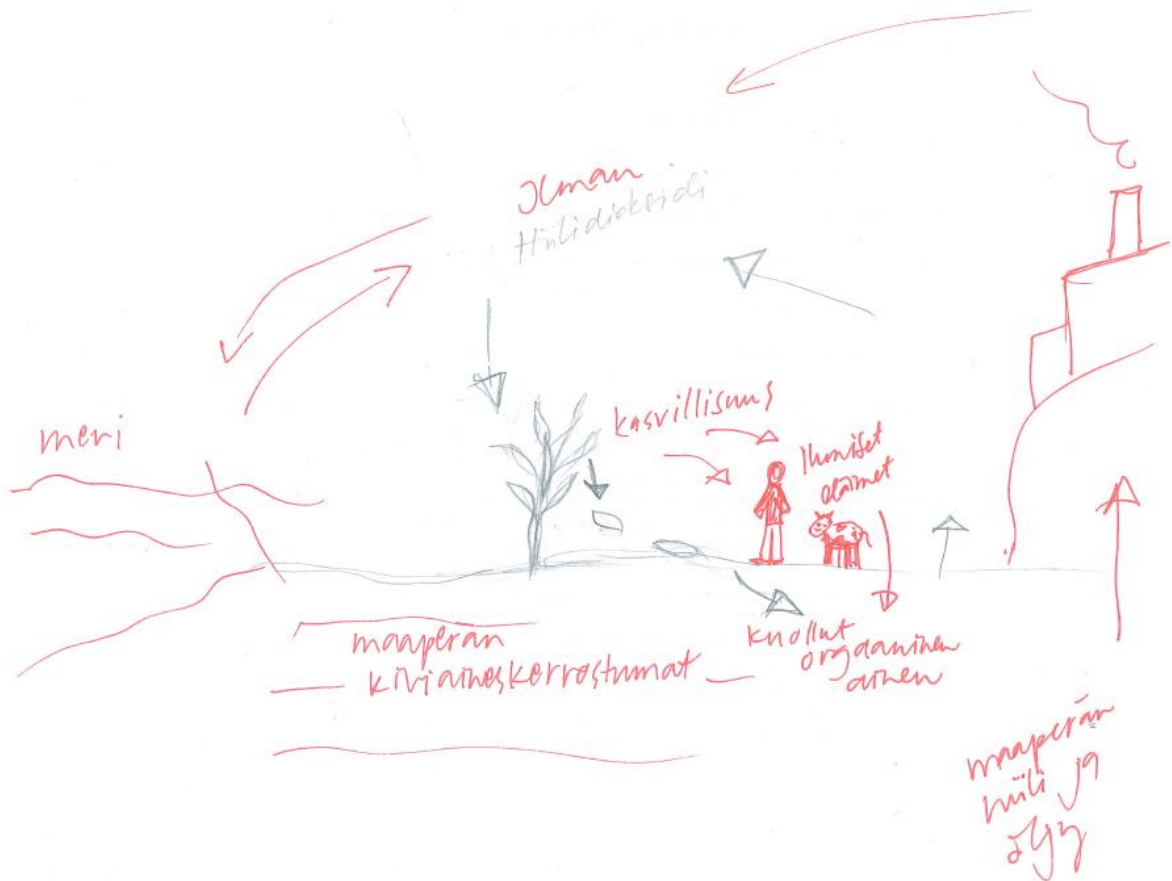
Kuva 29. Opiskelija (71) on keskittynyt vastauksessaan fotosynteesiin ja ravintoverkkoihin.



Kuva 30. Opiskelijan (63) vastauksessa kasvit käyttävät eläinten tuottamaa hiilidioksidia yhteyttämisessä.

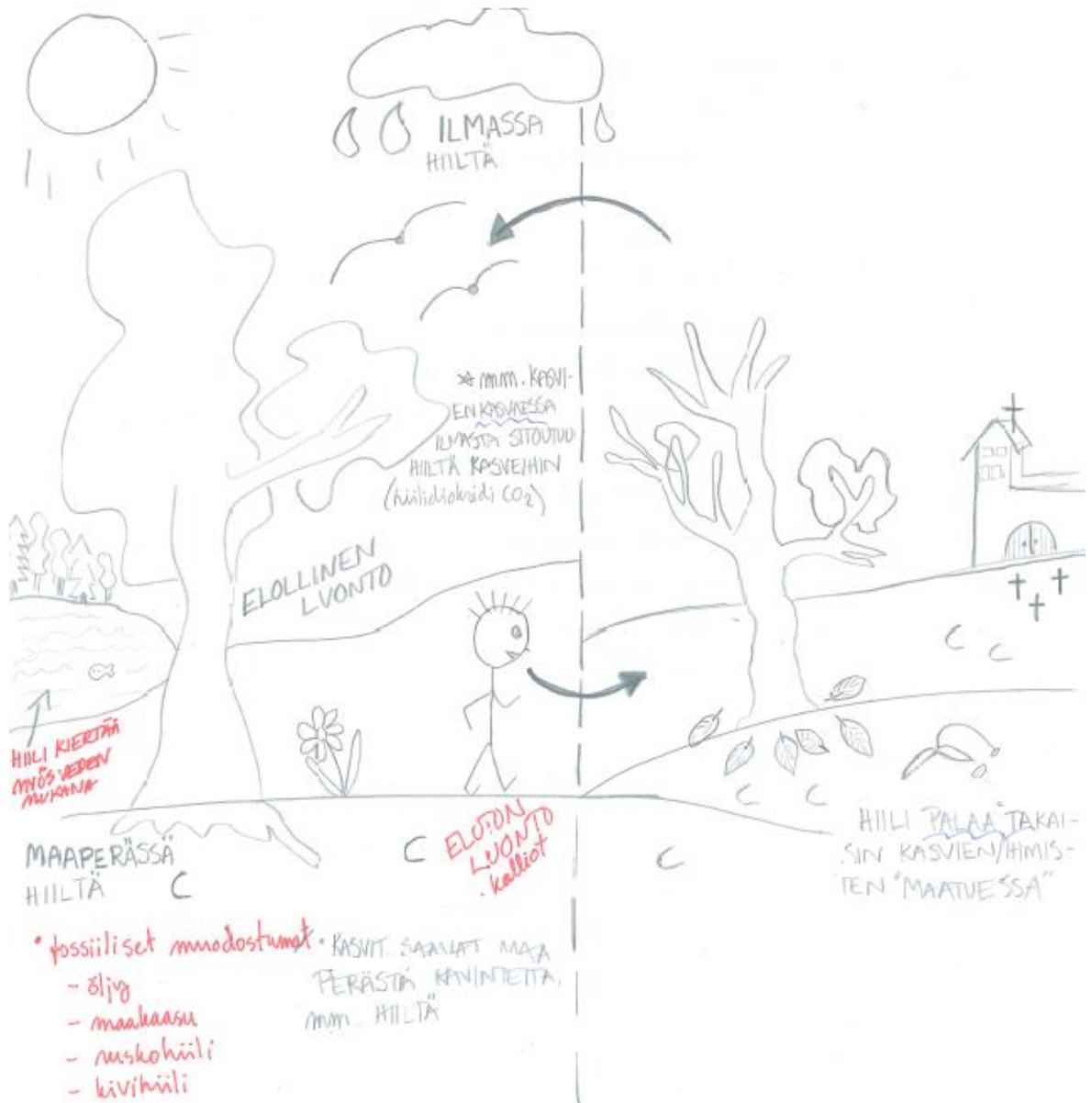


Kuva 31. Opiskelija (58) on käsitellyt hiiltä lähinnä raaka-aineena.



Kuva 32. Opiskelijan (28) piirroksessa korostuvat hiilen varastot.

Vastauksissa ymmärrettiin yleensä, että hiili kulkee ravintoverkkojen mukana tuottajilta kuluttajille. Hiilen alkuperään ravintoverkoissa liittyi kuitenkin useissa vastauksissa virhekäsitys: *koska hiiltä on maaperässä, se kulkeutuu sieltä kasvien kautta muihin elollisiin* (1). Virhekäsitys on melko yleinen, sillä myös Stavy ym. (1987) havaitsivat tutkiessaan yläkouluikäisiä oppilaita, että 40% ehdotti orgaanisten yhdisteiden, ravinnon tai hiilidioksidin olevan peräisin maasta. Opiskelijat saattoivat väittää, että kasvien tarvitsema energiakin oli peräisin maasta: *luonnosta – kasvit ja puut saavat energiaa ja elinvoimaa* (6). Anderson ym. (1990) löysivät saman tuloksen, jonka mukaan vielä yliopisto-opiskelijoillakin voi olla Auringon lisäksi ajatuksia muista fotosynteesin energianlähteistä. Hiili saatettiin luokitella myös ravinteeksi (kuva 33).

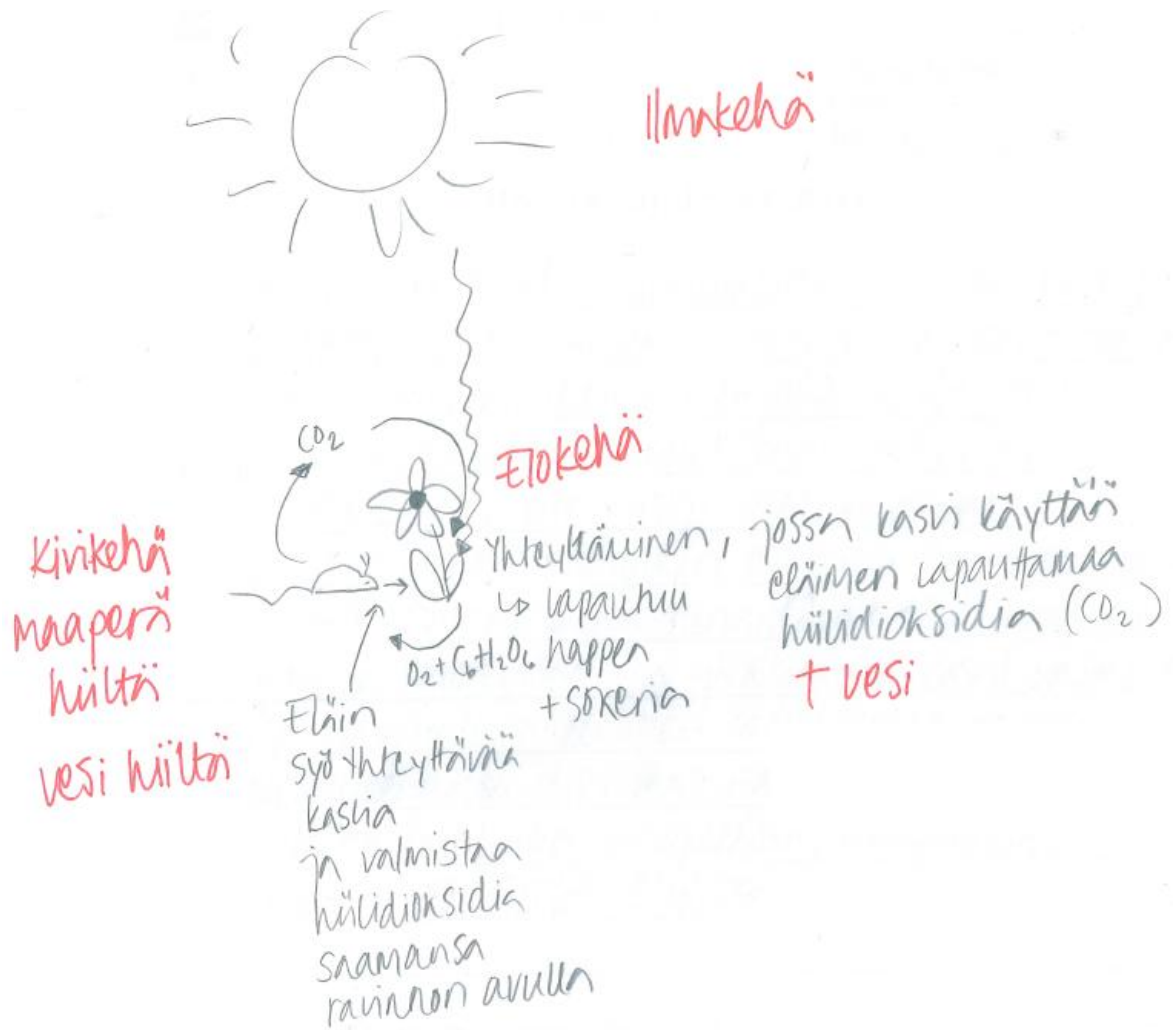


Kuva 33. Opiskelijan (44) mukaan hiili on yksi ravinteista, joita kasvi ottaa maaperästä.

Virhekäsitykset olivat selvästi yhteydessä heikkoon ymmärrykseen kasvien toiminnasta. Opiskelijat saattoivat mainita fotosynteesiin tarvittavia tekijöitä, mutta eivät osanneet luetella niitä kaikkia eivätkä yhdistää niitä kasvien toimintaan (kuvat 34 ja 35). Barak ym. (1999) kutsuvat tätä input-output -malliksi, jossa kasvit pelkästään vastaanottavat ja luovuttavat aineita. Fotosynteesin lähtöaineeksi saatettiin väittää jopa happea ja vastaavasti tuotteeksi hiilidioksidia, jolloin prosessin periaatetta ei ymmärretty lainkaan. Lisäksi osa opiskelijoista vain mainitsi fotosynteesin selittämättä lainkaan sen lähtöaineita tai toimintaa.



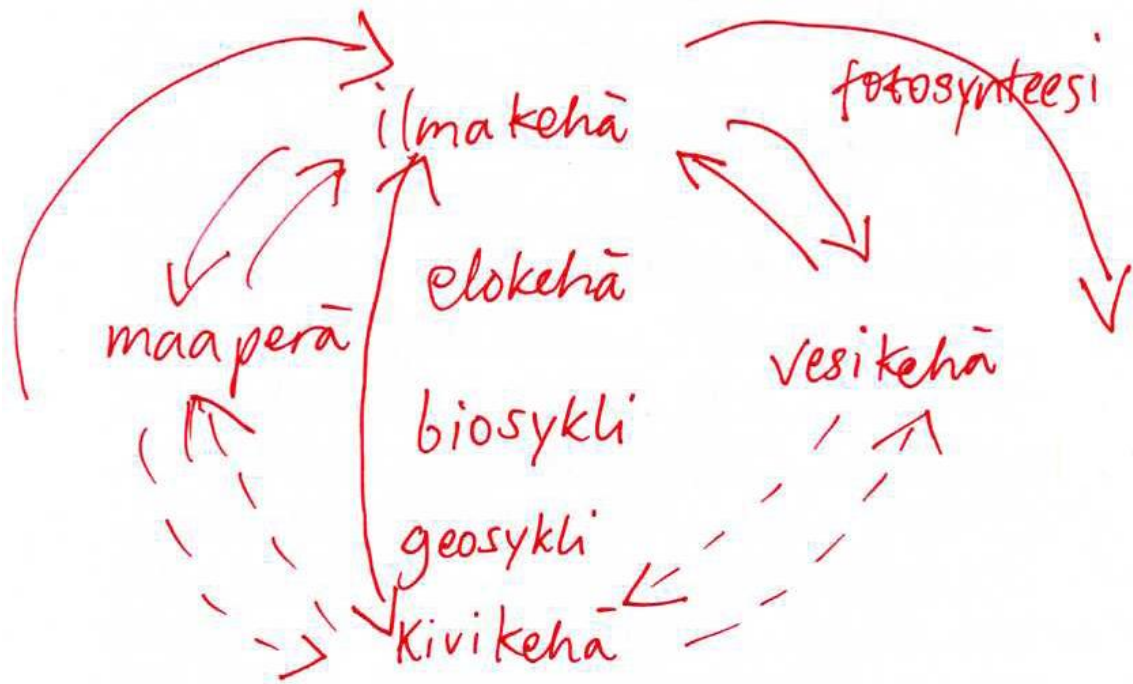
Kuva 34. Opiskelija (22) ei ole merkinnyt piirroksensa tarkasti hiilen yhdisteitä eri prosesseissa.



Kuva 35. Opiskelija (82) on lisännyt veden yhteyttämisessä tarvittaviin lähtöaineisiin demonstraation jälkeen.

Puutteet etenkin fotosynteesiä koskevissa tiedoissa viittasivat pinnalliseen oppimiseen, jossa oppija on keskittynyt ulkooppimiseen asian sisäistämisen sijaan: *ympäristötiedon opetus ei ole mennyt peruskoulussa ymmärryksen tai ajattelun tasolle* (29). Lisäksi tiedonhaun taitojen tai aihetta koskevan kiinnostuksen puutteesta kertoo se, että yli viidesosa vastaajista oli kopioinut demonstraation jälkeisen piirroksensa suoraan Metsäyhdistyksen internetsivustolta (kuvat 2 ja 36). He eivät olleet myöskään yhdistäneet kuvaa mitenkään aikaisempiin kuviinsa tai tietoihinsa.

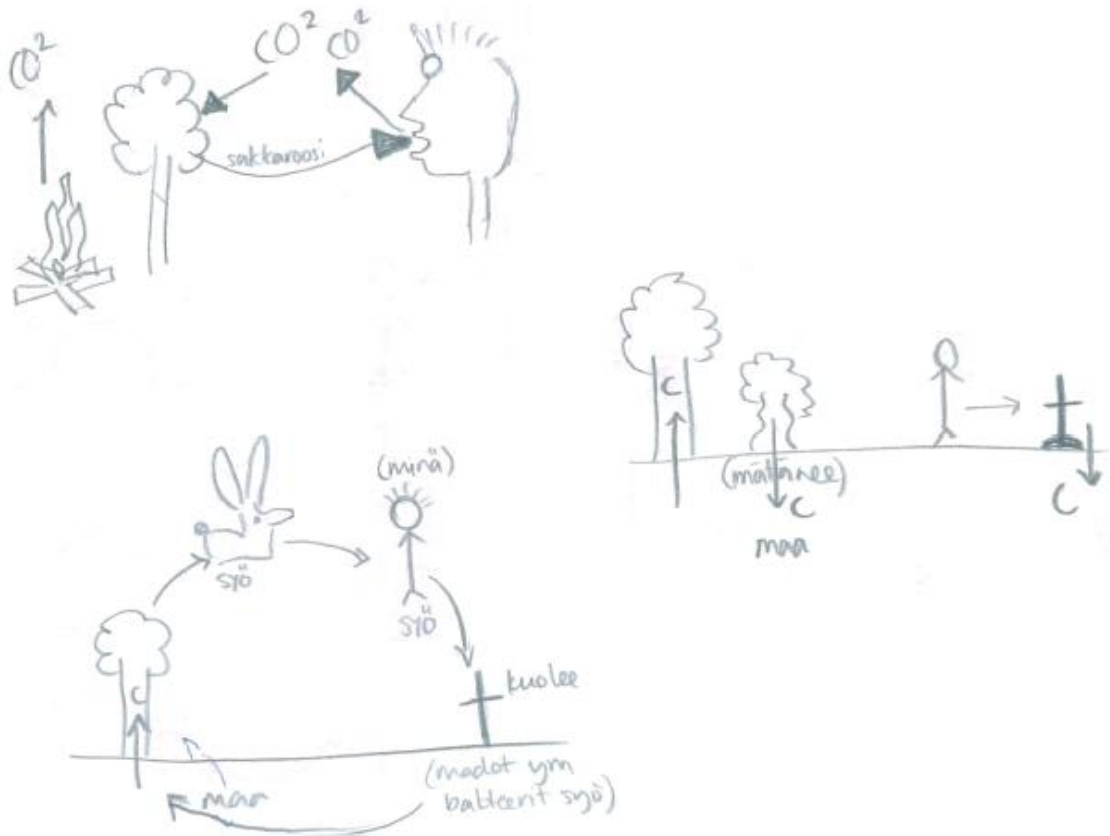




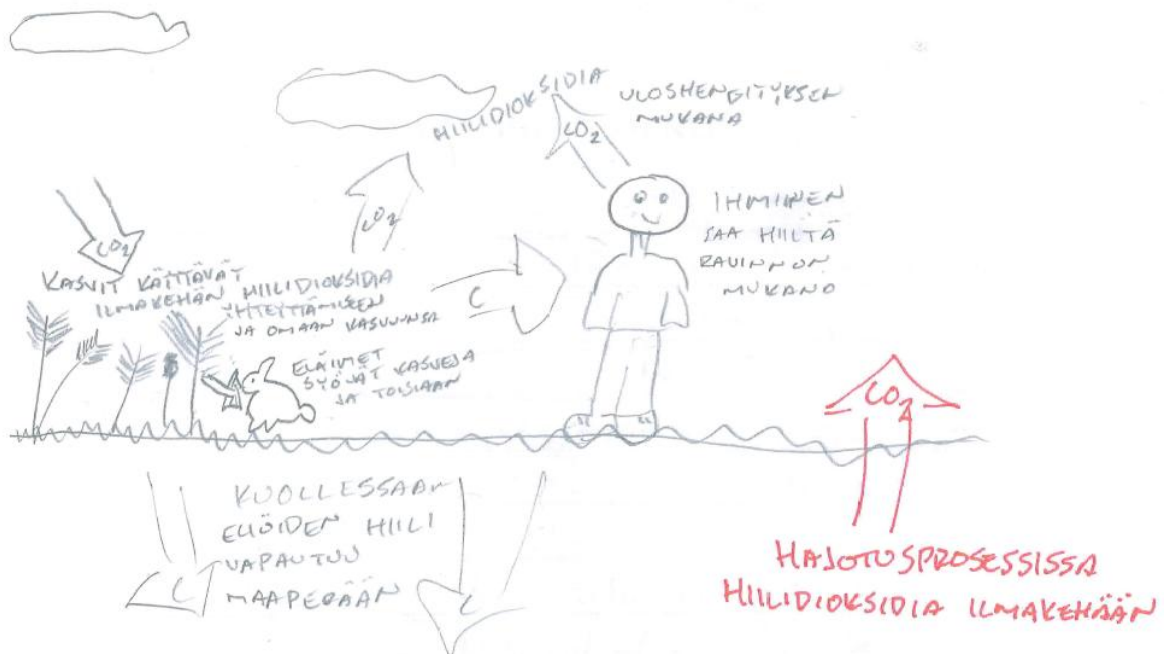
Kuva 36. Vastajan 11 piirros on kopioitu suoraan Metsäyhdistys ry:n internet-sivustolta.

#### 6.2.4 Hyvä käsitys hiilen kierrosta

Hyvän käsityksen omaavat opiskelijat osoittivat vastauksissaan, että he tunsivat ennen kaikkea fotosynteesin ja soluhengityksen periaatteet hyvin. He olivat selittäneet molemmat tapahtumat selkeästi ja osasivat linkittää ne myös toisiinsa. Lisäksi vain kahdella luokan yhdestätoista vastaajasta oli yhteyttämiseen liittyvä virheellinen tai puutteellinen käsitys ennen demonstraatiota. Toinen heistä ajatteli ristiriitaisesti kasvin saavan yhteyttämiseen tarvittavan hiilen sekä ilmasta että maasta (kuva 37), kun taas toiselle oli epäselvää, miten maaperän hajottajien toiminnan tuloksena syntynyt hiilidioksidi siirtyy ilmakehään (kuva 38). Molemmat olivat kuitenkin korjanneet käsityksensä demonstraation jälkeen tekstissä ja piirroksessa.

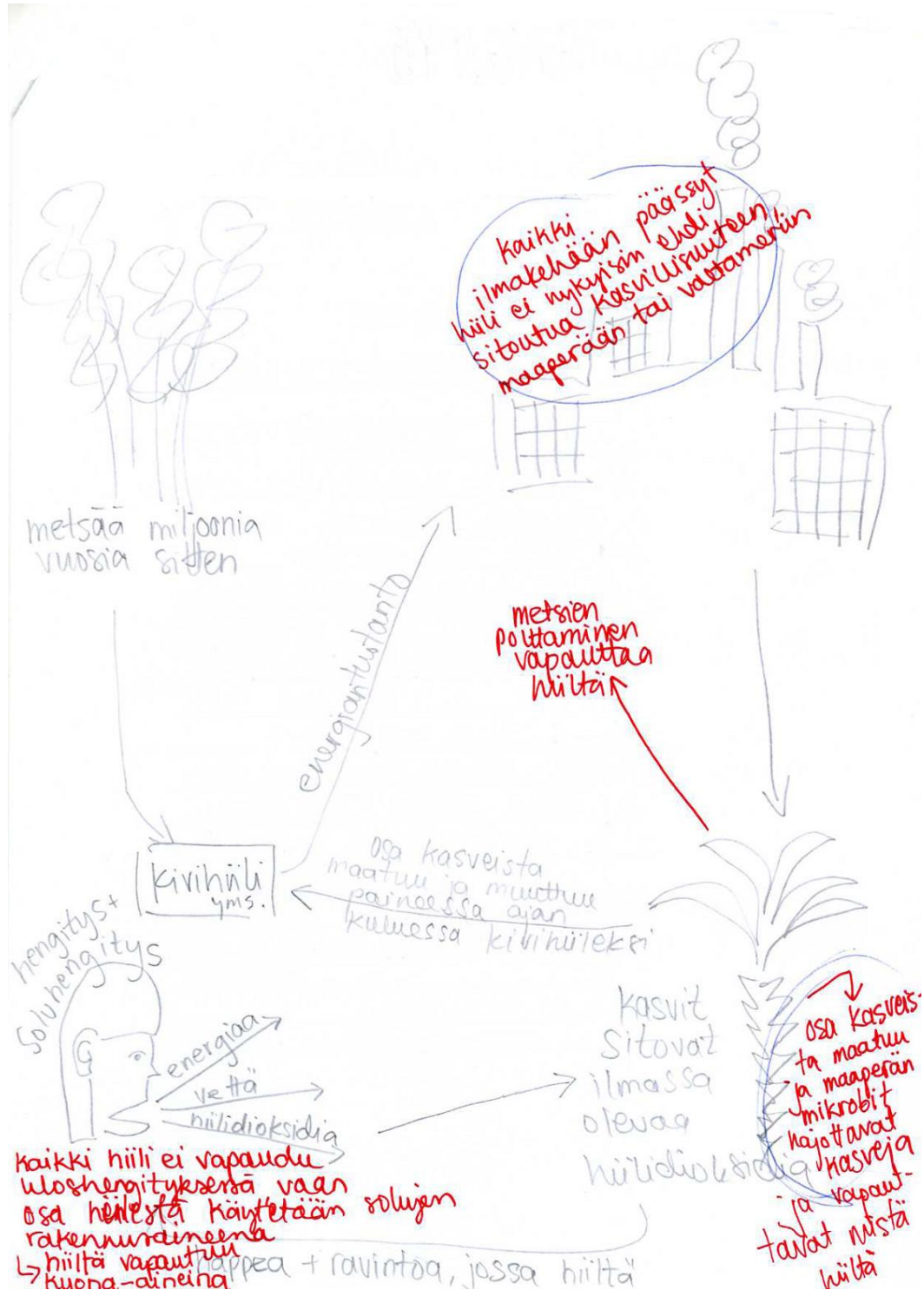


Kuva 37. Opiskelijan (46) piirroksessa kasvit ottavat hiiltä sekä ilmasta että maasta.



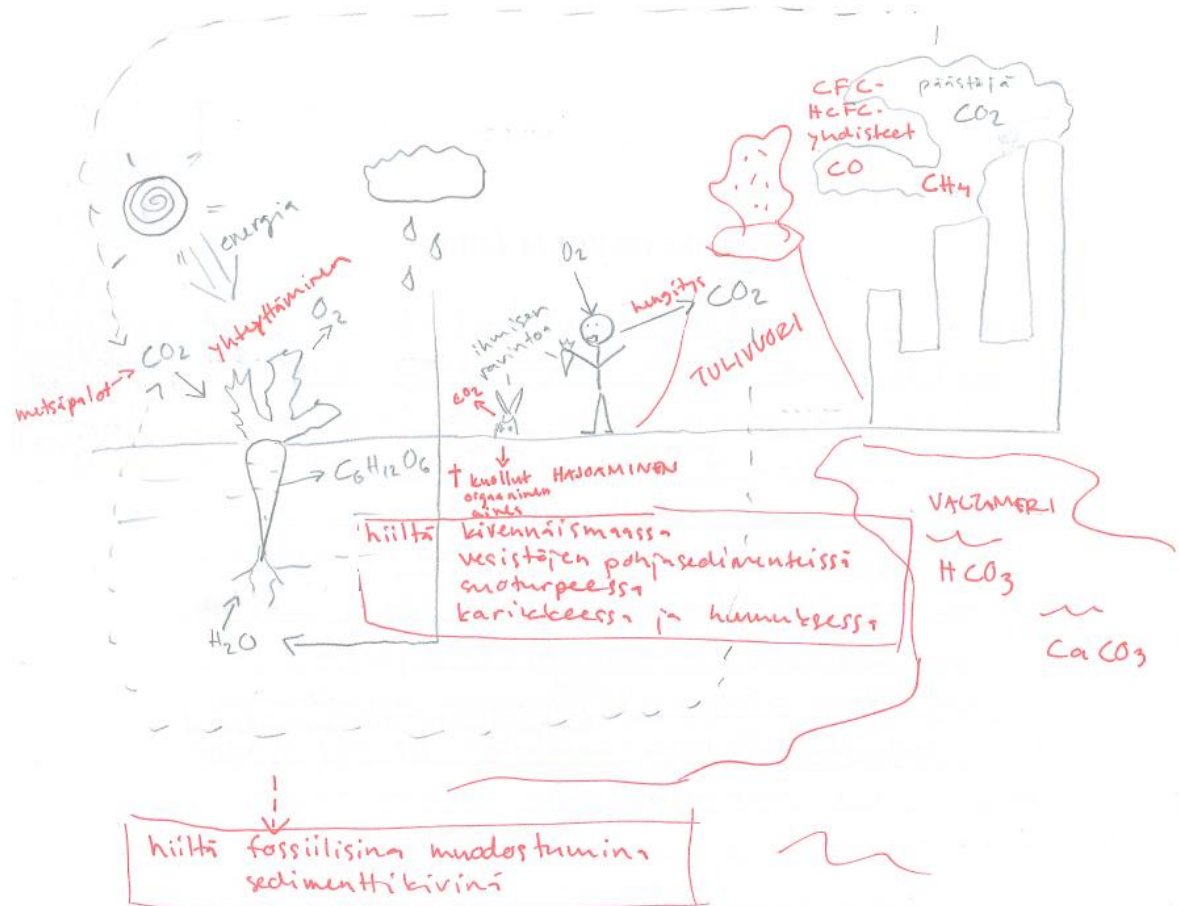
Kuva 38. Opiskelija (64) on korjannut piirrostaan demonstraation jälkeen hajotusprosessin osalta.

Kaikki luokan vastaajat olivat sisällyttäneet vastauksiinsa myös muita hiilen kierron elementtejä, kuten hiilen varastojen syntymisen ja hiilen siirtymisen varastosta toiseen, ilmaston lämpenemisen ja hiilyhdisteiden teollisen käytön (kuva 39). Kahdella vastaajista käsitys hiilen kierrosta oli hyvä ja monipuolinen jo aluksi ja heidän systeemiajattelun tasonsa pysyi samana demonstraation jälkeenkin. Kuudella vastaajista systeemiajattelu nousi yhden ja kolmella kaksi tasoa.



Kuva 39. Opiskelijalla (31) on monipuolinen käsitys hiilen kierrosta.

Vastauksista kävikin ilmi, että luokan opiskelijat olivat motivoituneita kehittämään tietorakenteitaan. He olivat hakeneet tietoa ja muokanneet vastauksiaan ja piirroksiaan demonstraation jälkeen. Täydennyksistä oli havaittavissa todellisia muutoksia hiilen kiertoa koskevassa kokonaisajattelussa, kun opiskelijat olivat esimerkiksi piirroksiaan muokatessaan lisänneet puuttuvia tietoja paikoilleen (kuva 40).



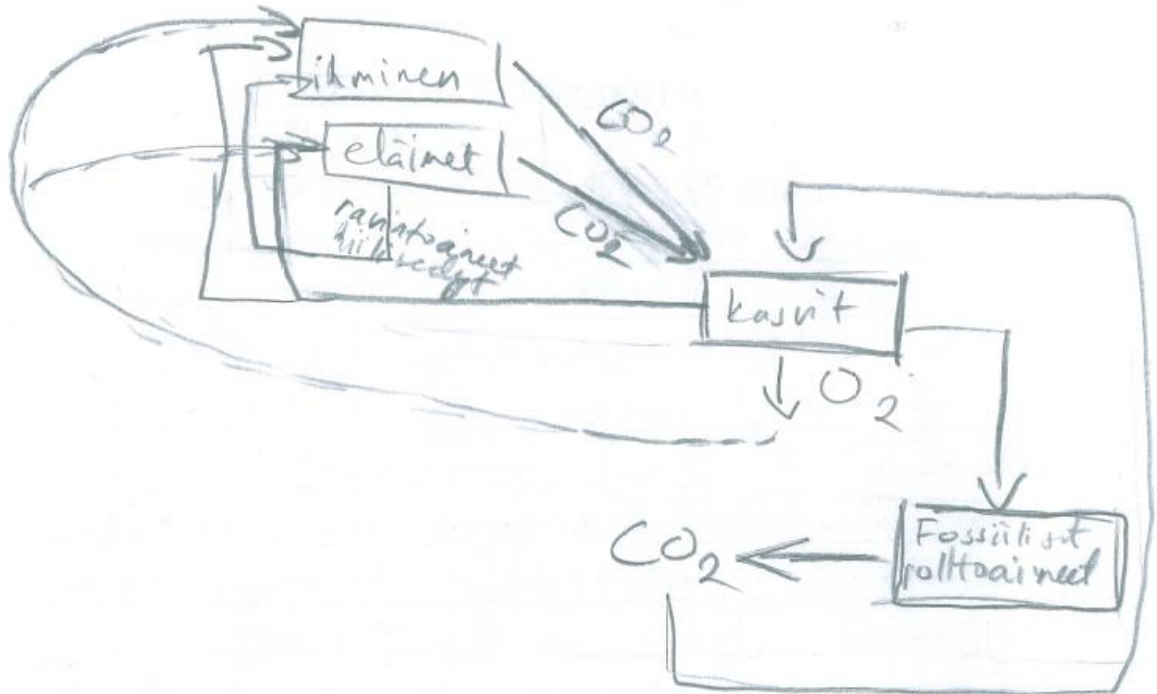
Kuva 40. Opiskelija (12) on yhdistänyt uutta tietoa ennen demonstraatiota tekemänsä piirroksen.

### 6.2.5 Erinomainen käsitys hiilen kierrosta

Erinomaisen käsityksen hiilen kierrosta saavutti lopulta vain kaksi opiskelijaa, jotka olivat selittäneet hiilen kierron tieteellisesti ja monipuolisesti. Heidän vastauksistaan kävi ilmi ennen kaikkea kaksi asiaa, jotka erottivat heidät muista vastaajista ja osoittivat systeemijattelun taitoja. Ensinnäkin he olivat selvästi ymmärtäneet ja kykenivät selittämään, että hiilen kierto on syklinen ilmiö, jossa hiili kiertää eri varastojen välillä kokonaismäärän pysyessä vakiona. Toinen vastaajista kirjoitti esimerkiksi, että *hiilen kierrossa aine ei katoa, se vain on sitoutunut erilaisiin molekyyliin* (79). Toinen käytti esimerkkinä metsiä: *Metsiä kaadettaessa hiilidioksidia sitovan kasvipeitteen määrä vähenee, mikä lisää ilman hiilidioksidipitoisuutta. Jos tilalle kasvaa uusi metsä, se sitoo päästöä vastaavan hiilimäärän ilmakehästä* (26). Toiseksi vastauksista kävi selväksi, miten hiilen kierron nykyinen tila on seurausta menneistä tapahtumista ja miten nykyhetki vaikuttaa edelleen tulevaisuuteen.

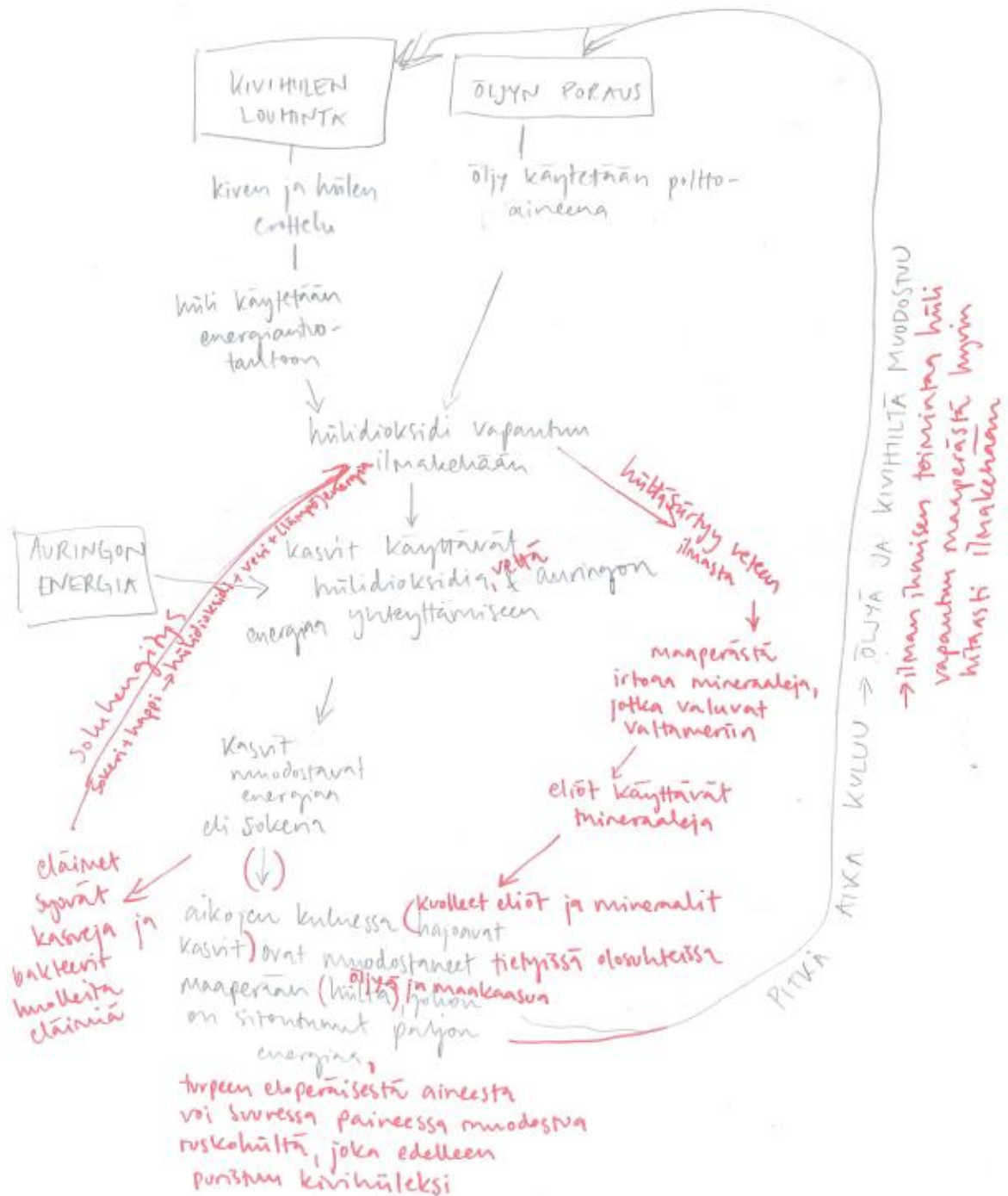
Luokan vastaajat erosivat toisistaan kuitenkin siinä, että toisen systeemijattelu nousi tasolta 2 tasolle 8 ja toisen pysyi tasolla 6. Toinen opiskelijoista omasi siis vain kohtalaiset

alkutiedot, mutta kykeni demonstraation ja perehtymisen avulla saavuttamaan kattavan käsityksen hiilen kierrosta. Toinen taas oli muodostanut jo aiemmin monipuolisen, tieteellisen käsityksen aiheesta, eikä muokannut vastaustaan enää demonstraation jälkeen (kuva 41). Hänellä oli koko otannan parhaat ennakkotiedot aiheesta.



Kuva 41. Opiskelijalla (79) on hyvä kokonaiskäsitys hiilen kierrosta jo ennen demonstraatiota.

Systemiajattelun tasoaan kuusi luokkaa nostaneen opiskelijan vastaus viittaa siihen, että myös lyhyen perehtymisen kautta on mahdollista muokata käsityksiään huomattavastikin. Muutoksen aikaansaaminen vaatii kuitenkin kohtalaisia alkutietoja aiheesta. Lisäksi opiskelijalla on oltava aktiivista halua oppia ja kykyä tunnistaa aikaisemmat virhekäsitykset ja yhdistää uusi tieto vanhaan. Opiskelijan (26) piirroksesta (kuva 42) käy hyvin ilmi, kuinka hän on muokannut alkuperäistä kaaviotaan ja yhdistänyt uutta tietoa vanhaan.



Kuva 42. Opiskelija (26) on muokannut piirrostaan aiheeseen perehtymisen jälkeen.

## 6.2 Mitkä olivat yleisimmät hiilen kiertoa koskevat virhekäsitykset?

Tutkimuksen mukaan luokanopettajaopiskelijat ajattelivat virheellisesti etenkin fotosynteesistä, soluhengityksestä ja hajotustoiminnasta. Yksittäisillä opiskelijoilla oli myös hiilen varastoihin tai hiilen kiertokulkuun liittyviä virheellisiä käsityksiä.

Andersonin ym. (1990) mukaan fotosynteesi ja soluhengitys ovat hiilen kokonaisuymmärryksen kannalta keskeisiä tapahtumia, sillä ne yhdistävät kierron elottoman ja elollisen osan. Aineiden olomuodonmuutokset elävän ja elottoman luonnon välillä ovat kuitenkin osoittautuneet vaikeasti hahmotettaviksi (Ebert-May ym. 2003, Ebert-May ym. 2004, Assaraf & Orion 2005). Viidesosalla opiskelijoista olikin fotosynteesiin tai

soluhengitykseen liittyviä virheellisiä käsityksiä ennen demonstraatiota, ja tilanne oli lähes sama myös demonstraation jälkeen. Etenkin hiilidioksidi ja sen olomuodonmuutokset olivat kompastuskiviä ymmärryksessä.

Lähes neljäsosa vastaajista oli maininnut oikein fotosynteesiin tarvittavat lähtöaineet ja lopputuotteet vastauksissaan demonstraation jälkeen. Vastausten lähempi tarkastelu kuitenkin osoitti, että suurin osa heistä ei kuitenkaan ymmärtänyt yhtälön merkitystä eikä osannut yhdistää sitä esimerkiksi soluhengitykseen. Yhtälö oli esitetty irrallisena ja vaikutti ulkoaopitulta. Näin käy usein silloin, kun käsite ei yhdisty arkikokemuksiin. Andersonin ym. (1990) mukaan fotosynteesi on juuri tällainen käsite, koska siitä on vaikea tehdä havaintoja. Myös Hogan & Fisherkeller (1996) havaitsivat, että fotosynteesiin liittyvä tieto on usein ulkoa opeteltua ja muistinvaraista, kuten ”kasvit valmistavat hiilidioksidista hapetta”. Opiskelijoiden vastauksissa fotosynteesiin tarvittavia tekijöitä myös puuttui tai ne olivat virheellisiä. Aikaisemmissa tutkimuksissa kemiallisten reaktioyhtälöiden ja yhdisteiden kemiallisten kaavojen ymmärtämisen on todettu tuottavan usealle opiskelijalle ongelmia. Tällöin esimerkiksi fotosynteesin lopputuotteen, glukoosin  $C_6H_{12}O_6$ , sisältämät alkuaineet jäivät helposti epäselviksi, eivätkä opiskelijat ymmärrä hiilidioksidin sisältämän hiiliatomin ja sokerin sisältämien hiiliatomien välistä yhteyttä (Stavy ym. 1987, Anderson ym. 1990). Ulkoa opetellusta reaktioyhtälöstä myös helposti unohtuu jokin osa pois, jos asia on pelkän ulkomuistin varassa eikä opiskejalla ole kykyä päättelyyn. Yleisimmin opiskelijat ajattelivat virheellisesti, että kasvit saavat kasvuunsa tarvitsemansa hiilen maaperästä. Ebert-Mayn (2003, 2004) mukaan on yleistä, että opiskelijat ajattelevat fotosynteesiin tuottavan energiaa hiilen ja ravinteiden ottamiseen maasta. Kasvien ajatellaan ”syövän” juurillaan orgaanisia aineita maaperästä (Stavy ym. 1987). Hiilen alkuperä ja hiilidioksidin osuus fotosynteesissä tuottikin monelle vastaajista ongelmia. Opiskelijat eivät esimerkiksi miellä hiilidioksidia kasvien kasvun ja sokerin valmistuksen kannalta kovinkaan merkittäväksi aineeksi, vaikka tietävätkin, että hiilidioksidillakin on kaasuna massa. He ajattelevat, että hiilidioksidi on massaton kaasu, eikä se siten voi lisätä tai vähentää organismin massaa (Stavy ym. 1987, Hogan & Fisherkeller 1996, Carlsson 2002a,b, Ebert-May 2003, 2004).

Soluhengitys osoittautui fotosynteesiä huomattavasti tunnetuksi ja vain harva oli esittänyt sen periaatteen oikein. Viidesosalla opiskelijoista oli vielä demonstraation jälkeenkin virheellisiä käsityksiä soluhengitykseen liittyen. Opiskelijat olivat ensinnäkin sekoittaneet keskenään käsitteet hengitys ja soluhengitys. Soluhengityksen ja hengityksen käsitteet menevät myös aikaisempien tutkimusten mukaan helposti sekaisin (Anderson ym. 1990, Songer & Mintzes 1994, Ebert-May 2003). Andersonin ym. (1990) mielestä olisikin tärkeää puhua selkeästi soluissa tapahtuvasta soluhengityksestä, jolloin sekaannusta eläinten ja ihmisten keuhkoissa tapahtuvaan kaasujenvaihtoon ei syntyisi niin helposti. Toiseksi neljännes opiskelijoista ei ollut ilmaissut mitenkään, että myös kasvit hengittävät. Ajatus siitä, että vain eläimet ja ihmiset hengittävät on osoittautunut yleiseksi. Kasveilla on opiskelijoiden mielestä esimerkiksi kloroplastit mitokondrioiden sijaan, joten ne eivät voi hengittää (Ebert-May 2003). Kasvien omavaraisuuden ymmärtämistä sotkee vielä ajatus, että kasvit tarvitsevat eläimiltä vapautunutta hiilidioksidia (Songer & Mintzes 1994). Soluhengityksen käsitteen vaikeudesta kertoo myös se, että vain neljännes vastaajista oli ylipäänsä sisällyttänyt sen vastauksiinsa.

Kolmanneksi eniten virheellisiä käsityksiä liittyi hajotustoimintaan. Yksikään luokanopettajaopiskelijoista ei selittänyt tarkasti hajotustoiminnan periaatetta. Ebert-Mayn (2003, 2004) mukaan hiilen kierron ymmärtäminen vaikeutuu, jos opiskelija ei koe hajoamisprosessin tarkkaa kuvaamista tärkeäksi. Opiskelijat pitävät tällöin aineiden häviämistä yksiselitteisenä ja saattavat jopa ajatella, että hajotustoiminta johtaa aineiden häviämiseen (Leach ym. 1996). Luokanopettajaopiskelijat ajattelivat kuitenkin

yleisemmin, että hajotustoiminnan seurauksena hiiltä vapautuu maaperään. Joka kymmenes vastaajista esitti, että hajotustoiminnan seurauksena maaperään vapautui hiiltä sellaisessa muodossa, jota kasvit edelleen imivät juurillaan kasvaakseen. Tämä on osoitus siitä, että opiskelijat ymmärsivät hajottajia ja niiden toimintaa hiilen kierrossa erittäin huonosti (Hogan & Fisherkeller 1996, Majamaa & Ollila 1998). Harva opiskelija esimerkiksi tiesi, että maaperähengitys tarkoittaa siinä elävien organismien hengittämistä itse maaperän hengittämisen sijaan. Saman on havainnut myös Ebert-May (2003, 2004). Myös tuottajien, kuluttajien ja hajottajien väliset yhteydet olivat heikosti tunnettuja (Lin & Hu 2003). Lisäksi termejä hajoaminen, lahoaminen, maatumine ja mätäneminen ei osattu käyttää oikein ja niitä käytettiin toistensa synonyymeina.

Perimmäisenä ongelmana Anderson ym. (1990) näkevät opiskelijoiden heikon ymmärryksen kasvien ja eläinten aineen ja energian käytöstä. Gudovitch & Orion (2001) esittävätkin tutkimuksensa pohjalta, että opiskelijoiden kemian ja fysiikan perustietoutta tulisi lisätä, jotta he kykenisivät paremmin ymmärtämään soluhengityksen ja fotosynteesiin kaltaisia ilmiöitä.

On myös huomattava, että vastauksissa esiintyneiden virheellisten käsitysten määrä olisi todennäköisesti vielä lisääntynyt, mikäli myös ne opiskelijat, jotka vastasivat tutkimuslomakkeeseen vain muutamalla lauseella tai toteamalla etteivät tiedä aiheesta mitään, olisivat kirjoittaneet ja piirtäneet kaikki käsityksensä vastauslomakkeeseen.

### **6.3 Miten luokanopettajaopiskelijoiden hiilen kiertoa koskeva ajattelu kehittyi lyhyen demonstraation aikana?**

Lähtökohtaisesti ajatellaan, että opettajan käsitykset opetettavista ilmiöistä pohjautuvat tieteelliseen tietoon. Oppilaan käsitykset taas ovat yleensä muodostuneet arkisten havaintojen pohjalta, eivätkä ne useinkaan ole tieteellisesti hyväksyttävissä. Jokainen opettajakin on kuitenkin aikanaan ollut oppilas. Missä vaiheessa opettajan mahdolliset virheelliset käsitykset ovat muuttuneet tieteellisiksi?

Luokanopettajaksi valmistuvan tyypillinen opinpolku on kulkenut ala- ja yläkoulun kautta lukioon, jossa annetaan yleissivistävä pohjakoulutus kaikista oppiaineista. Osalla opiskelijoista voi olla takanaan myös aikaisempi ammatillinen tai akateeminen koulutus. Itse luokanopettajakoulutuksessa keskitytään etupäässä kasvatustieteen opintoihin (142 op) (liite 3). Perusopetuksessa opettavien aineiden ja aihekokonaisuuksien monialaiset opinnot (POM-opinnot) muodostavat yhden aineopintokokonaisuuden (60 op) luokanopettajien koulutuksessa. Yhtä oppiainetta tai aihekokonaisuutta opiskellaan vaihtelevasti 3-9 op. Ympäristö- ja luonnontietoa opiskellaan yhteensä 9 op ja siihen sisältyvät biologian, fysiikan, kemian maantiedon ja terveystiedon osuudet (liite 4). Opintopistemäärä yhtä oppiainetta kohti on siis pieni ja opetus kohdistuu pääasiassa aineen pedagogiaan – ei sisältötiedon kartuttamiseen. Sisältötiedouden hankkiminen jää pitkälti opiskelijan oman harrastuneisuuden varaan.

Tässä tutkimuksessa luokanopettajaopiskelijat kirjoittivat ja piirsivät käsityksiään hiilen kierrosta. Voitiin olettaa, että heidän perustietämyksensä aiheesta oli useimmissa tapauksissa peräisin lukio-opinnoista. Tutkimus osoitti, että suurimmalla osalla arkikäsitteet hiilen kierron osa-alueita koskien eivät olleet muuttuneet opintouran aikana kaikilta osin tieteellisiksi ja heidän ajatuksensa olivat pintapuolisia ja ulkoopittuja. Vain noin joka kuudennella oli jonkinlainen kokonaiskäsitte hiilen kierrosta. Luokanopettajaopiskelijoilla voitiin havaita myös samoja oppimista vaikeuttavia tekijöitä kuin oppilaillakin. Heillä ei esimerkiksi ollut hyvää käsitystä siitä, mitä hiili on, eli heidän orgaanisen kemian taitonsa eivät olleet riittävät. Koska esimerkiksi biologian ja kemian oppisisältöihin ei perehdytä opettajankoulutuksessa syvällisemmin, opettaa valmistunut



luokanopettaja oppitunneillaan pohjatietojensa sekä mahdollisesti hankkimansa lisätiedon varassa.

Tutkimusasetelmassa pyrittiin jäljittelemään tilannetta, jossa luokanopettaja etsii tietoa ennakkokäsitystensä varassa tulevaa oppituntia varten. Näin saatiin tietoa sekä opiskelijoiden olemassa olevista käsityksistä että kyvystä omaksua uutta tietoa ja muokata vanhoja tietorakenteitaan. Tulosten perusteella voitiin todeta, että virheellisten käsitysten korjaaminen on vaikeaa, eikä se yleensä onnistu nopeasti. Ne opiskelijat, joiden lähtötiedot olivat heikot ja sisälsivät paljon virheitä, kopioivat vastauksiinsa pääsääntöisesti yksittäisiä asioita suoraan internetistä yhdistämättä niitä mitenkään muuhun vastaukseen. He eivät myöskään korjanneet tekemiään virheitä. Systeemiajattelun kehitystä tarkasteltaessa tämä näkyi siinä, että yli puolella vastaajista ei tapahtunut minkäänlaista edistystä hiilen kierron kokonaiskuvan muodostamisessa. Kolmasosalla tapahtunut yhden tason nousu systeemiajattelussa johtui ennen kaikkea yksittäisten virheellisten käsitysten korjaamisesta tai yksittäisten uusien asioiden esille tuomisesta. Demonstraation aikana hankittu uusi tieto hiilen kiertoa koskien liittyi siis irrallisina palasina aikaisempiin irrallisiin tietoihin, ja ilman yritystä ymmärtää eri osien välisiä yhteyksiä ja merkityksiä uusi tieto unohtunee tai vääristyy helposti. Yhden opiskelijan huima kuuden tason nousu (tasolta 2 tasolle 6) systeemiajattelussa kuitenkin todistaa, että mikäli opiskelijalla on kohtuulliset lähtötiedot, kyky hankkia tietoa, poimia olennaiset asiat ja muokata vanhoja käsityksiään sekä ennen kaikkea motivaatiota kehittää ajatteluaan, voi lyhyessäkin ajassa saavuttaa tieteellisen kokonaiskuvan aiheesta. Oppiminen onkin parhaimmillaan aktiivista tiedon konstruointia.

Osalla vastaajista huono suoriutuminen oli yhteydessä kielteiseen suhtautumiseen ja motivaation puutteeseen. Muutama vastaajista kirjoitti suoraan, ettei aihe tai sen opiskelu kiinnostanut heitä tutkimusajankohtana: *Jos seitsemään vuoteen ei ole tarvinnut näitä asioita pohtia, on näin aamulla klo 8.15 hyvin vaikea palauttaa niitä mieleen (72)*. Osalla luokanopettajista onkin todettu olevan kielteinen suhtautuminen luonnontieteellisten asioiden opettamiseen. Kielteisen asennoitumisen on selitetty johtuvan heikosta oppiaineksen ja menetelmien hallinnasta, välineiden ja ajan puutteesta sekä opetettavien asioiden vaikeudesta. Negatiivisen asennoitumisen on todettu heijastuvan myös oppilaisiin vähentäen intoa opiskella luonnontieteitä (Aho ym. 2003).

Suurimmalla osalla tutkimukseen osallistuneista opettajaopiskelijoista ei ollut riittäviä tietoja opettaakseen aihetta muille. Vaarana on, että tulevat opettajat siirtävät opetuksessaan omat virheelliset käsityksensä tai negatiivisen suhtautumisensa oppilaille. Ratkaisuksi luokanopettajien heikkoon aineenhallintaan on esitetty esimerkiksi aineenopettajajärjestelmän ulottamista alakouluun. Osassa yhtenäisistä peruskouluista tämä on jo käytäntö etenkin luonnontieteiden opetuksessa. Toinen mahdollisuus olisi lisätä sisältötietouden merkitystä luokanopettajakoulutuksessa. Tutkinnon laajuus asettaa kuitenkin tiukat rajat oppisisältöjen laajentamiselle, joten tämä lienee mahdotonta ja tarkoituksetonta. Luokanopettajien oma harrastuneisuus ja suuntautuminen sivuaineissa antavat kuitenkin kouluille mahdollisuuden järjestellä opetustaan siten, että oppilaat saisivat aineessa kuin aineessa mahdollisimman laadukasta opetusta niin pedagogisesti kuin sisällöllisestikin.

#### **6.4 Tutkimuksen luotettavuus ja tarve jatkotutkimukseen**

Tutkimuksessa selvitettiin luokanopettajaopiskelijoiden käsityksiä hiilen kierrosta. Tutkimusmenetelmäksi valittiin avoin kyselylomake, jota täydennettiin kahdessa vaiheessa kirjoituksin ja piirroksin. Näin saatiin tietoa sekä opiskelijoiden alkukäsityksistä että kyvystä omaksua ja muokata tietorakenteitaan uuden tiedon varassa. Avoimen kyselylomakkeen ansiosta pystyttiin minimoimaan strukturoidumman menetelmän johdatteleva vaikutus vastauksiin.

Tutkimukseen osallistuneiden luokanopettajaopiskelijoiden määrä oli vähäinen, joten tulokset eivät ole sellaisenaan yleistettävissä koskemaan koko luokanopettajaopiskelijaryhmää. Tutkimuksen tulokset olivat kuitenkin samansuuntaisia aiempien tutkimusten tulosten kanssa, mikä osoittaa niiden olevan merkittäviä.

Tutkimuksen luotettavuutta olisi mahdollisesti parantanut muutamien tutkimukseen osallistuneiden luokanopettajaopiskelijoiden haastattelu aineiston analysoinnin jälkeen. Haastattelujen avulla olisi voitu tarkentaa kuvaa luokanopettajaopiskelijoiden ymmärryksestä ja selventää mahdollisesti epäselviksi jääneitä kohtia vastauksissa. Haastattelemalla olisi voitu saada selville myös niiden opiskelijoiden käsityksiä, jotka vastasivat tutkimuslomakkeeseen vain muutamalla lauseella tai toteamalla, etteivät tiedä aiheesta mitään. Tutkimus olisi myös mahdollista toistaa toisella opiskelijaryhmällä tai samoilla opiskelijoilla myöhemmässä vaiheessa.

Tutkimuksen tulosten pohjalta olisi mahdollista kehittää luokanopettajaopiskelijoiden ympäristö- ja luonnontiedon opetusta ja kiinnittää paremmin huomiota erityisesti hiilen kierron ymmärtämisen ongelmiin. Tutkimus toi esille myös muita yleisiä biologian opetuksen ja oppimisen solmukohtia, jotka pitäisi huomioida opetusta suunniteltaessa. Jatkossa olisi mielenkiintoista palata haastattelemaan tutkimukseen osallistuneita luokanopettajaopiskelijoita esimerkiksi viiden työvuoden jälkeen ja tutkia, onko heidän hiilen kiertoa koskevassa ajattelussa tapahtunut muutoksia. Samalla voitaisiin selvittää, ovatko he törmänneet opetustyössään aiheeseen, miten he ovat valmistautuneet ja opettaneet aihetta ja miten he ovat kokeneet selviytyvänsä. Lisäksi olisi mielenkiintoista tutkia, millaista tukea ja koulutusta luokanopettajat kaipaisivat luonnontieteellisten aineiden opetukseen.

## **KIITOKSET**

Kiitos tutkimukseen osallistuneille luokanopettajaopiskelijoille. Kiitokset Tiina Nevanpäälle aineistosta, ohjauksesta ja hyvistä kommentteista. Suuret ja lämpimät kiitokset Jari Haimille kärsivällisestä ja tarkasta ohjaustyöstä sekä kannustuksesta. Ja lopuksi vielä kiitokset ja halaukset miehelleni ja perheelleni tuesta ja sopivasta painostuksesta työn loppuun saattamiseksi!

## KIRJALLISUUS

- Aho, L. 1991. Ajattelun kehittäminen ja luontoa koskeva opetus. Teoksessa Paananen, S. (toim.) *Lumiukkokko tiedettä. Tiedeopiskelu koulussa II*. VAPK-kustannus, Helsinki, .
- Aho, L., Havu-Nuutinen, S. & Järvinen, H. 2003. *Opetus, opiskelu ja oppiminen ympäristö- ja luonnontiedossa*. WSOY, Porvoo, 217 s.
- Alparslan, C., Tekkaya, C. & Geban, Ö. 2003. Using the conceptual change instruction to improve learning. *Journal of Biological Education* 37(3): 133-137.
- 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(8): 761-776.
- Aspholm, S., Hirvonen, H., Hongisto, J., Lavonen, J., Penttilä, A., Saari, H., Viiri, J. & Werner Söderström Osakeyhtiö. 2001. *Aine ja energia. Kemian tietokirja*. WSOY, Porvoo, 306s.
- 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(5): 518-560.
- Bala, G., Caldeira, K., Wickett, M., Phillips, T.J. & Lobell, D. 2007. Combined Climate and Carbon-Cycle Effects of Large-Scale Deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104(16): 6550-6555.
- Baldwin, J.A., Ebert-May, D. & Burns, D. J. 1999. The Development of a College Biology Self-Efficacy Instrument for Nonmajors. *Science Education* 83(4): 397-408.
- Barak, J., Sheva, B. & Gorodetsky, M. 1999. As "process" as it can get: students' understanding of biological processes. *International Journal of Science Education* 21(12): 1281-1292.
- Beedlow, P., Tingey, D., Phillips, D., Hogsett, W. & Olszyk, D. 2004. Rising atmospheric CO<sub>2</sub> and carbon sequestration in forests. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(6): 315-322.
- Campbell, N. & Reece, J. 2005. *Biology*. Pearson Education Inc., San Francisco, 1231p.
- Cantell, H. 2005. Teoksessa Eloranta, V., Jeronen, E. & Palmberg, I. (toim.) 2005. *Biologia eläväksi, biologian didaktiikka*. PS-Kustannus, Keuruu, 365s.
- Carlsson, B. 2002a. Ecological understanding 1: ways of experiencing photosynthesis. *International Journal of Science Education* 24(7): 681-699.
- Carlsson, B. 2002b. Ecological understanding 2: transformation – a key to ecological understanding. *International Journal of Science Education* 24(7): 701-715.
- Chiras, D. 2001. *Environmental science. Creating a Sustainable Future*. 730s. Jones and Bartlett Publishers Inc., Sudbury.
- Driver, R. Guesne, E. & Tiberghien, A. (toim.) 1985. *Children's Ideas In Science*. Open University Press, Glasgow.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P. & Wood-Robinson, V. 1994. *Making sense of secondary science. Research into children's ideas*. Routledge, London, .
- Ebert-May, D., Williams, K., Luckie, D. & Hodder, J. 2004. Climate change: confronting student ideas. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(6).
- Ebert-May, D., Batzli, J. & Lim, H. 2003. Disciplinary Research Strategies for Assessment of Learning. *BioScience* 53(12): 1221-1228.
- Eloranta, V. 2005. Teoksessa Eloranta, V., Jeronen, E. & Palmberg, I. (toim.) 2005. *Biologia eläväksi, biologian didaktiikka*. PS-Kustannus, Keuruu, 365s.
- Eteläpelto, A. & Tynjälä, P. 1999. *Oppiminen ja asiantuntijuus. Työelämän ja koulutuksen näkökulmia*. WSOY, Juva.
- Grotzer, T.A. & Bell Basca, B. 2003. How does grasping the underlying causal structures of ecosystems impact students' understanding? *Journal of Biological Education* 38(1): 16- 29.
- Gudovitch, Y. & Orion, N. 2001. The Carbon Cycle and the Earth Systems – Studying the Carbon Cycle in Multidisciplinary Environmental Context. *Science and Technology Education: Preparing Future Citizens. Proceedings of the IOSTE Symposium in Southern Europe. Volume I and Volume II*.
- Havu, S. 2000. *Changes in Children's Conceptions through Social Interaction in Pre-School Science Education*. Joensuun yliopisto: Publication in Education 60.

- Havu-Nuutinen, S. & Järvinen, H. 2002. Ympäristö- ja luonnontiedon opettaminen ja oppiminen ala-asteella. Teoksessa: Julkunen, M-L. (toim.) *Opetus, oppiminen, vuorovaikutus*. WSOY, Helsinki.
- Hogan, K. & Fisherkeller, J. 1996. Representing students' thinking about nutrient cycling in ecosystems: bidimensional coding of a complex topic. *Journal of Research in Science Teaching* 33(9): 941-970.
- Kennedy, J. (toim.) 1997. *Primary science. Knowledge and Understanding*. Routledge, London, 208p.
- Krebs, C. J. 2001. *Ecology – the experimental analysis of distribution and abundance*. Benjamin Cummings, San Francisco, 695 p.
- Lavelle P. & Spain A.V. 2001. *Soil ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 652p.
- Lin, C-Y. & Hu, R. 2003. Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis, and respiration. *International Journal of Science Education* 25(12): 1529-1544.
- Mikkilä, M. & Olkinuora, E. 1995. Miten oppilaat ymmärtävät fotosynteesin oppikirjatekstin ja tehtävien avulla. Teoksessa Mikkilä, M. & Olkinuora, E. (toim.) *Oppikirjat ja oppiminen*. Turun yliopisto. Oppimistutkimuskeskuksen julkaisuja 4, 52-62.
- Rauste- von Wright, M., von Wright, J. & Soini, T. 2003. *Oppiminen ja koulutus*. WSOY, Juva, .
- Ricklefs, R. E. & Miller, G. L. 2000. *Ecology*. W.H.Freeman and Company, New York, 822 p.
- Saari, H. & Viiri, J. 1998. *Kokeellisuus ja mallintaminen luonnontieteissä*. Opetushallitus, Hakapaino Oy, Helsinki, .
- 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.
- 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(6): 621-637.
- Stavy, R., Eisen, Y. & Yaakobi, D. 1987. How students aged 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education* 9: 105-115.
- Tynjälä, P. 2002 *Oppiminen tiedon rakentamisena – Konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita*. Tammer-Paino Oy, Tampere, 214 s.
- Viiri, J. 2000. *Vuorovesi-ilmiön selityksen opetuksellinen rekonstruktio*. Joensuun yliopisto: Kasvatustieteellisiä julkaisuja 59.
- Vosniadou, S. 1994. Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction* 4, 45-69.
- Özay, E. & Öztas, H. 2003. Secondary students' interpretations of photosynthesis and plant nutrition. *Journal of Biological Education* 37(2): 68-70.
- Jyväskylän yliopiston opettajankoulutuslaitoksen opetussuunnitelma 2010-2013:  
[https://www.jyu.fi/edu/laitokset/okl/opiskelu/luokanopettajakoulutus/luoko\\_ops\\_2010\\_1](https://www.jyu.fi/edu/laitokset/okl/opiskelu/luokanopettajakoulutus/luoko_ops_2010_1).  
 Luettu 16.11.2010.
- Suomen metsäyhdistys ry.:n hiilen kiertoa käsittelevä sivusto:  
<http://www.smy.fi/koulut/carbon/index.html>. Luettu 18.3.2008.

Liite 1. Kyselylomake.



Sukupuoli: N / M  
Opiskeluvuosi:  
Ikä:

### MINÄ JA HIILEN KIERTO

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

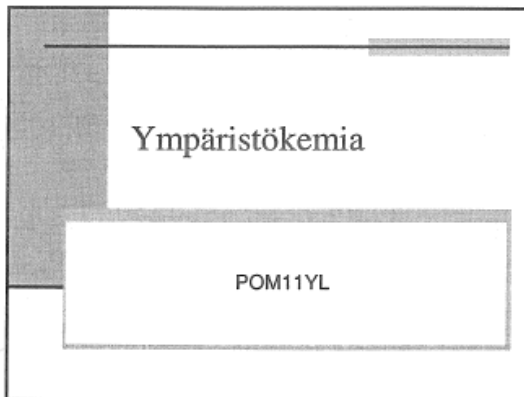
---

---

---

**TEE TÄHÄN KAAVIO / PIIRROS HIILEN KIERROSTA!**

Liite 2. Ympäristö- ja luonnontiedon demonstraatiotunti (kevät 2006).



### Demon tavoite ja rakenne

- Tavoitteena saada valmiuksia alaluokkien kemian opetukseen ja oman opetuksen kehittämiseen.
- Demon rakenne
  - Mitä opetan kemiasta?
  - Lähtökohtana oppilaiden tiedot ja taidot
  - Oman ajattelun aktivointi
  - Sisältötiedon hankkiminen
  - Oppilaiden käsityksiin tutustuminen

### Mitä opetan kemiasta?

- Aineet ympärillämme
  - Ilman koostumus ja ilmakehä
  - Veden ominaisuudet ja sen merkitys liuottimena, luonnonvesien tutkiminen sekä veden puhdistaminen
  - Maaperästä saatavien aineiden luokittelu sekä aineiden erotusmenetelmiä
  - Elinympäristöön kuuluvien aineiden ja tuotteiden alkuperä, käyttö ja kierrätys sekä niiden turvallinen käyttö
  - Vaikuttavat aineet päihteissä ja huumaavissa aineissa ja niiden haitat

### Opetuksen tavoitteet

hyvän osaamisen kuvaus 6. luokan päättyessä

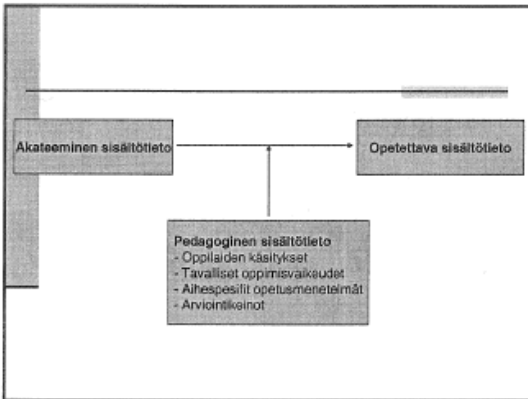
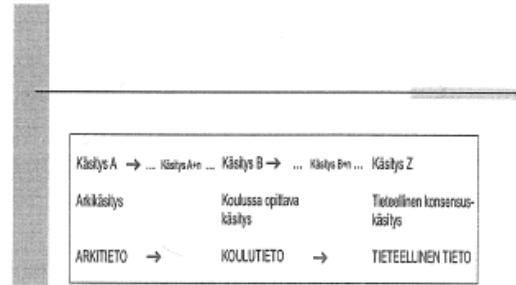
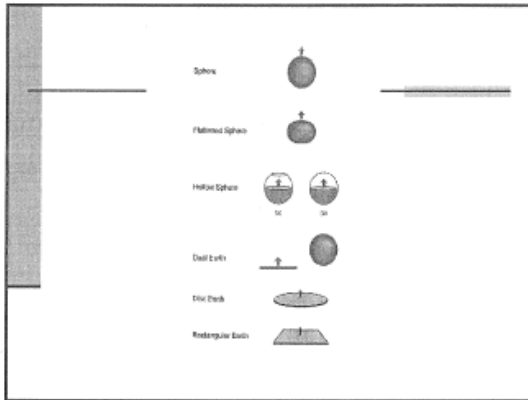
- Oppilas
  - osaa luokitella maaperästä saatavia aineita, tuntee maaperän alkuaineiden kemiallisia merkkejä sekä osaa käyttää erilaisia aineiden erottamismenetelmiä, kuten suodatusta, kiteytystä ja seulomista.
  - tuntee perusasioita ympäristönsä aineiden ja tuotteiden turvallisesta käytöstä ja elinkaaresta sekä osaa tutkia aineiden ja tuotteiden ominaisuuksia esimerkiksi happamuutta.

### Opetuksen lähtökohtana...

- ... ovat oppilaan aikaisemmat tiedot, taidot ja kokemukset sekä ympäristön kappaleista, aineista ja ilmiöistä tehdyt havainnot ja tutkimukset, joista edetään kohti fysiikan ja kemian peruskäsitteitä ja periaatteita.

### Oppilaiden käsitykset ja tiedot

- Poikkeavat usein ilmiön tieteellisestä selityksestä
- Ovat ns. arkikäsityksiä
  - Perustuvat havaintoihin
  - Lapsen näkökulmasta järkeviä ja johdonmukaisia
- Arkikäsitykset vaikuttavat uuden tiedon konstruointiin!
  - Assimilaatio vs. rekonstruktio



### Lähtökohtana käsitysten näkyväksi tekeminen...

- "MINÄ JA HIILEN KIERTO"
  - Kirjoita ja piirrä
  - Kuvaa hiilen globaalia kiertoa ja kuinka itse olet siinä osallisena
  - Tutkimuskäyttö
    - Sukupuoli
    - Ikä
    - Opiskeluvuosi

### Aine ja energia luonnossa

- Aiheet kiertävät
  - Erilaiset aineet ovat loputtomassa kierrossa maapallolla
- Energia virtaa
  - Energiaa tarvitaan jatkuvasti lisää

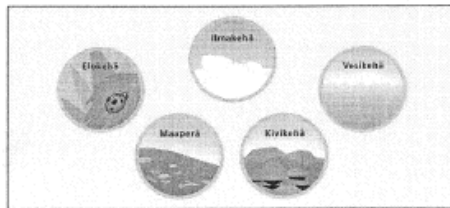
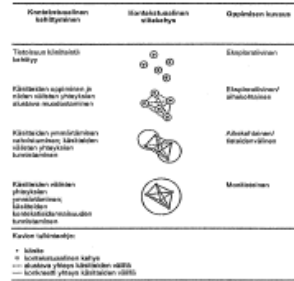
### Hiili ja hiilen kiertokulku

- MIKSI?
  - "Hiiltä on hillittömän paljon luonnossa."
  - Kaikki elollisen luonnon aineet koostuvat jollain lailla hiilen eri yhdisteistä.
    - Ilman hiiltä elämää ei voisi tuntemassamme muodossa olla lainkaan.
    - Hiiliatomit liittyvät toisiinsa muodostaen pitkiä ketjuja. Muita alkuaineita tai aineryhmiä kiinnittyy ketjussa oleviin hiiliatomeihin. Näin muodostuu hiiliyhdisteitä, joita ovat esimerkiksi hiilihydraatit, rasvat ja valkuaisaineet.



## Miksi...?

- Hiilen kierto integroi useita luonnontieteellisiä käsitteitä
- The carbon cycle, often skimmed over as a confusing image with arrows in introductory textbooks" (Ebert-May ym. 2002)
- Oppilailla on virheellisiä käsityksiä
- Systemiajattelun vaikeus



## Hiilen kierto

- <http://www.smy.fi/koulut/carbon/index.html>

## Virheellisistä käsityksistä (Ebert-May)

- Hajotustoiminta hävittää aineen.
- Fotosynteesi tuottaa energiaa ravinteiden ottamiseen maasta. Maasta otetut ravinteet lisäävät kasvin biomassaa, ei fotosynteesi.
- Hiilidioksidi on kaasu, eikä se voi lisätä organismin massaa.
- Hiilidioksidi muuttuu hapeksi kasvin lehdistä jotta kaikki organismit voivat hengittää.
- Kasveilla on kloroplastit mitokondrioiden sijaan joten ne eivät voi hengittää.

- Tutustu hiilen kiertoon
  - Täydennä piirrostasi PUNAKYNÄLLÄ/kuulakärkikynällä!
- Etsi tietoa oppilaiden virheellisistä käsityksistä ja oppimisen vaikeuksista
  - Voit keskittyä hiilen kierron johonkin osa-alueeseen (esim. hiilihydraatit, fotosynteesi, fossiiliset polttoaineet...)
  - Tee lyhyt raportti tutustumastasi sisällöstä.
  - Mitä ja miten opettaisit aihetta alaluokilla?
- Lähetä sähköpostilla tiina.nevanpaa@edu.jyu.fi

## Liite 3. Luokanopettajakoulutuksen opintojen kokonaisuus.

**LUOKANOPETTAJAKOULUTUKSEN OPINTOJEN KOKONAIKUUS**

(Yhteensä 300 op sisältäen KK-tutkinnon 180 op ja KM-tutkinnon 120 op)

<b>Opintokokonaisuudet</b>	<b>KK tutkinto 180 op</b>	<b>KM tutkinto 120 op</b>	<b>YHT. 300 op</b>
1) Viestintä- ja orientoivat opinnot	20 op	5 op	25 op
2) Kasvatustieteen perusopinnot	25 op	-	25 op
3) Kasvatustieteen aineopinnot	37 op	-	37 op
4) Kasvatustieteen syventävät opinnot	-	80 op	80 op
5) Perusopetuksessa opettavien aineiden ja aihekokonaisuuksien monialaiset opinnot	60 op	-	60 op
6) Sivuaineopinnot	25 op	35 op	60 op
7) Vapaasti valittavat opinnot	13 op	-	13 op

**KASVATUSTIETEEN KANDIDAATIN TUTKINNON (180 op) OPINTOJAKSOJEN LAAJUDET**  
(*ped* = opettajan pedagogisia opintoja)

<b>VIESTINTA- JA ORIENTOIVAT OPINNOT</b>	<b>20 op</b>
KTOK101 Johdatus yliopisto-opiskeluun ja HOPS	4 op
KTOK102 Johdatus tieteelliseen tutkimukseen	3 op
OKLV110 Tieto- ja viestintätekniikka sekä tiedonhankinta 1	3 op
OKLV210 Äidinkielen viestintä ja vuorovaikutusosaaminen 1	4 op
XRU0502 XRU0503 Toinen kotimainen kieli	3 op
Vieras kieli	3 op
<b>KASVATUSTIETEEN PERUSOPINNOT</b>	<b>25 op</b>
<i>TEEMA 1. Orientoituminen kasvatustieteen työhön ja toimintaympäristöihin</i>	
<b>Kasvatustieteen tiedekunnan yhteiset kasvatustieteen perusopinnot (15 op)</b>	
<i>Alateema 1.1 Johdatus kasvattajan työhön</i>	
KTKP110 Kasvatustieteen filosofiset ja historialliset perusteet ( <i>ped</i> )	5 op
KTKP102 Kasvatustieteen psykologiset perusteet ( <i>ped</i> )	5 op
KTKP103 Kasvatustieteen sosiologiset perusteet ( <i>ped</i> )	5 op
<b>Laitoskohtaiset kasvatustieteen perusopinnot (10 op)</b>	
<i>Alateema 1.2 Johdatus opettajan työhön</i>	
OKLP410 Kasvun ja oppimisen ohjaaminen ( <i>ped</i> )	6 op
OKLP515 Opetusharjoittelu 1 (Itseymmäryksestä vuorovaikutukseen) ( <i>ped</i> )	4 op
<b>KASVATUSTIETEEN AINEOPINNOT</b>	<b>37 op</b>
<i>TEEMA 2. Oppiminen ja sen ohjaaminen</i>	
OKLA210 Kehittyvä yksilö ryhmässä	7 op
A. OKLA211 Yksilölliset oppimisen edellytykset (3 op)	
B. OKLA212 Vuorovaikutusosaaminen ryhmässä ja verkostoissa (4 op)	
OKLA410 Oppimisen ohjaaminen ja oppiva organisaatio ( <i>ped</i> )	9 op
A. OKLA411 Oppiva ja osallistava organisaatio (3 op)	
B. OKLA412 Oppimisen ohjaamisen suunnittelu, toteutus ja arviointi (6 op)	
OKLA515 Opetusharjoittelu 2 (Suunnittelu opetuksen ja oppimisen perustana) ( <i>ped</i> )	6 op
OKLA610 Tutkimusmetodiikka ja -viestintä	5 op
OKLA620 Kandidaatintutkielma	10 op
OKLA621 Kypsyysnäyte	
<b>PERUSOPETUKSESSA OPETETTAVIEN AINEIDEN JA AIHEKOKONAI-SUUKSIEN MONIALAISET OPINNOT</b>	<b>60 op</b>
<b>SIVUAINEOPINNOT</b>	<b>25 op</b>
<b>VAPAASTI VALITTAVAT OPINNOT</b>	<b>13 op</b>

**KASVATUSTIETEEN MAISTERIN TUTKINNON (120 op) OPINTOJAKSOJEN LAAJUUDET**  
(ped = opettajan pedagogisia opintoja)

VIESTINTÄ- JA ORIENTOIVAT OPINNOT	5 op
OKLV120 Tieto- ja viestintätekniikka sekä tiedonhankinta 2	3 op
OKLV220 Äidinkielen viestintä ja vuorovaikutusosaaminen 2	2 op
<b>KASVATUSTIETEEN SYVENTAVAT OPINNOT</b>	<b>80 op</b>
<i>TEEMA 3. Oppimisen rakenteelliset ehdot ja niiden tutkiminen</i>	
<i>Alateema 3.1 Kasvattaja rakenteellisten ehtojen toteuttajana ja muokkaajana (35 op)</i>	
OKLS110 Kasvattajan etiikka ja kasvatustieteiden filosofia	3 op
OKLS210 Kehitys ja kasvu ympäristöt	3 op
OKLS310 Kouluyhteisö ja yhteiskunta	3 op
OKLS410 Opettaja työssänsä tutkijana (ped)	4 op
OKLS530 Opetusharjoittelu 3 (Oppimisen ohjaaminen ja arviointi) (ped) *	8 op
OKLS540 Opetusharjoittelu 4 (Kouluyhteisö ja yhteiskunta) (ped) *	8 op
OKLSxxx Vaihtoehtoisia kasvatustieteiden syventäviä opintoja	6 op
<i>Alateema 3.2 Opettaja tutkijana (45 op)</i>	
<i>Tutkimusmenetelmäopinnot</i>	
OKLS610 Tutkimusmetodiikan ja -viestinnän syventävä kurssi	5 op
<i>Tutkielmaopinnot</i>	
OKLS631 Opinnäyteseminaari 1: Tutkimuksen suunnittelu ja aineiston keruu	5 op
OKLS632 Opinnäyteseminaari 2: Aineiston analyysi ja tutkimuksen raportointi	5 op
OKLS640 Opinnäyte	30 op
OKLS641 Kypsyysnäyte	
<b>SIVUAINEOPINNOT</b>	<b>35 op</b>

Liite 4. Perusopetuksessa opettavien aineiden ja aihekokonaisuuksien monialaiset opinnot (POM-opinnot).

<b>1. POM: PAKOLLISET OPINTOJAKSOT</b>	<b>51 op</b>
POM11JO Johdanto monialaisiin opintoihin	4 op
<b>Humanistiset aineet</b>	<b>12 op</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• POM11HY Historia 3 op</li> <li>• POM11US Uskonto / POM11EL Elämäkatsomustieto 3 op</li> <li>• POM11AI Äidinkieli ja kirjallisuus 6 op</li> </ul>	
<b>Matemaattis-luonnontieteelliset aineet</b>	<b>13 op</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• POM11MA Matematiikka 4 op</li> <li>• POM11YL Ympäristö- ja luonnontieto 9 op</li> </ul>	
<b>Taide- ja taitoaineet</b>	<b>21 op</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• POM11KU Kuvataide 5 op</li> <li>• POM11TS Käsityökasvatus ja tekstiilityö sekä POM11TN Teknologiakasvatus ja tekninen työ 6 op</li> <li>• POM11LI Liikunta 5 op</li> <li>• POM10MU Musiikki 5 op</li> </ul>	
POM11SE Monialaisten opintojen koontiseminaari	1 op
<b>2. POM: VALINNAISET OPINTOJAKSOT</b>	<b>9 op</b>
<b>Integroidut aihekokonaisuudet</b>	<b>3 op</b>
POM-oppiaineiden valinnaisia opintojaksoja (Osioon voi sisältyä yksi aihekokonaisuus)	6 op
<b>POM-OPINNOT YHTEENSÄ</b>	<b>60 op</b>