

LUKIOLAISTEN VAIHTOEHTOISET KÄSITYKSET
FOTOSYNTESISISTÄ

Helsingin yliopisto
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta
Kemian laitos
Kemian opettajankoulutusyksikkö
Pro gradu -tutkielma
Antti Pohjola
4.8.2010
Ohjaaja: Maija Aksela

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty		Laitos Institution – Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Kemian laitos	
Tekijä Författare – Author			
Antti Pohjola			
Työn nimi Arbetets titel – Title			
Lukiolaisten vaihtoehtoiset käsitykset fotosynteesistä			
Oppiaine Läroämne – Subject			
Kemian opetus			
Työn laji Arbetets art – Level	Aika Datum – Month and year	Sivumäärä Sidoantal – Number of pages	
Pro gradu –tutkielma	4.8.2010	63 + 34	
Tiivistelmä Referat – Abstrac			
Fotosynteesi on tärkein kemiallinen tapahtuma elämälle. Se on kemosynteesin lisäksi ainoa tapa, jolla autotrofiset eli omavaraiset eliöt hankkivat energiaa. Aiheen ajankohtaisuus näkyy esimerkiksi fotosynteesitutkimuksen laajuudessa. Fotosynteesistä pyritään löytämään ratkaisuja moniin ihmiskunnan ongelmiin. Myös fotosynteesin opetusta ja oppimista on tutkittu paljon. Tässä tutkimuksessa käsitellään fotosynteesiin liittyviä vaihtoehtoisia käsityksiä, fotosynteesin kemiaa ja yleisesti fotosynteesin oppimista sekä opetuksen haasteita. Tutkimuksen tavoitteena on tarkastella fotosynteesin kemiaan liittyviä pääkaupunkiseudun lukiolaisten vaihtoehtoisia käsityksiä ja niiden esiintymistä. Lisäksi tavoitteena on selvittää vaikuttaako fotosynteesin kemiaan liittyvien vaihtoehtoisten käsitysten esiintymiseen vastaajan sukupuoli tai käytyjen kemian kurssien määrä. Tutkimuksen teoreettisessa viitekehyksessä käsitellään fotosynteesin kemiaa ja fotosynteesin oppimista ja opetusta. Tutkimuksessa käytetty tutkimusmetodi on Survey-tutkimus. Tutkimuksen otanta on 121 Helsingin seudun lukiolaista. Tutkimus tehtiin keväällä 2010. Tutkimuksen mukaan lukiolaisilla on lukuisia erilaisia vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesin kemiasta useista eri aiheista. Keskeisimmät vaihtoehtoiset käsitykset liittyivät fotosynteesin riippuvuuteen valosta, soluhengityksen sekoittamiseen fotosynteesiin ja kasvin solujen energian tarpeeseen. Lisäksi vaihtoehtoisia käsityksiä oli joko fotosynteesin ymmärtämisessä kemialliseksi reaktioksi tai yleisesti kemiallisen reaktioyhtälön muodostamisessa. Termi klorofylli näyttäisi olevan vastaajille outo. Vastaajan sukupuoli ei vaikuta vaihtoehtoisten käsitysten esiintymiseen eikä vastauksen oikeellisuuteen. Käytyjen kemian kurssien määrä vaikuttaa vaihtoehtoisiin käsityksiin niitä vähentävästi.			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords			
Fotosynteesi, lukion kemia, vaihtoehtoiset käsitykset, Survey-tutkimus			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited			
Helsingin yliopisto, Kemian laitos			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			
Tarkastajat: Maija Aksela ja Juho Helaja			

Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	1
2	Fotosynteesin kemiaa	4
2.1	Fotosynteesi-tutkimuksen tiivistetty historia	4
2.2	Fotosynteesin evoluutio	5
2.3	Fotosynteesin edellytykset	5
2.3.1	Valo.....	6
2.3.2	Hiilidioksidi	8
2.3.3	Vesi	9
2.3.4	Lämpö	9
2.3.5	Muut ravinteet	9
2.4	Kloroplastin rakenne	10
2.5	Energian ja elektronien kulku	10
2.5.1	Valoreaktiot.....	10
2.5.1.1	Fotosysteemi II.....	11
2.5.1.2	Fotosysteemi I.....	13
2.5.2	Pimeäreaktiot.....	14
2.5.2.1	PCR- sykli	14
2.6	Fotosynteesin tuotteet.....	17
2.6.1	Hiiltä sisältävät.....	17
2.6.2	Happi.....	18
3	Fotosynteesin opetus ja oppiminen	18
3.1	Oppilaiden ja opiskelijoiden käsityksiä.....	18
3.1.1	Fotosynteesin vaihtoehtoiset käsitykset Suomessa	20
3.2	Opetusmalleja.....	20
3.2.1	Kontekstuaalisuus opetuksessa.	21
3.2.1.1	Käytännönläheinen konteksti	21
3.2.1.2	Teoreettinen konteksti	22
3.2.1.3	Sosiaalinen konteksti.....	23
3.2.1.4	Historiallinen konteksti	23
3.2.2	Muita oppimista edesauttavia opetustapoja.....	24
3.3	Fotosynteesi kemian opetussuunnitelmien perusteissa	24
4	Tutkimus.....	26
4.1	Tavoitteet	26
4.2	Toteutus.....	27
4.3	Kohde	27
4.4	Menetelmä.....	29

4.5	Luotettavuus.....	30
5	Tulokset	33
5.1	Fotosynteesin ymmärtäminen	33
5.1.1	Kaasujen kierto fotosynteesissä	33
5.1.2	Fotosynteesin reaktioyhtälön muodostus	37
5.1.3	Fotosynteesi ja soluhengitys	38
5.1.4	Klorofyllin merkitys fotosynteesissä.....	40
5.1.5	Energia ja valon rooli fotosynteesissä.....	41
5.2	Sukupuolen vaikutus vastauksiin	43
5.3	Käytyjen kemian kurssien määrän vaikutus vastauksiin.....	47
6	Johtopäätökset ja pohdinta	54
6.1	Opiskelijoiden vaihtoehtoiset käsitykset.....	54
6.2	Sukupuolen vaikutus vaihtoehtoihin käsityksiin	56
6.3	Käytyjen kemian kurssien määrän vaikutus vaihtoehtoihin käsityksiin.....	56
6.4	Tutkimuksen merkitys.....	57
LÄHTEET.....		59
LIITTEET		64

Lyhenneluettelo:

3PG = 3-fosfoglyseraatti

ATP = adenosiniinitrifosfaatti

BPG = 1,3-bisfosfoglyseraatti

DHAP = dihydroksyasetonifosfaatti

E4P = erytroosi-4-fosfaatti,

F6P = fruktoosi-6-fosfaatti,

FBP = fruktoosi-1,6-bisfosfaatti

GAP = glyseraldehydi-3-fosfaatti, trioosifosfaatti

LHC = valoa keräävä kompleksi

NADPH = pelkistynyt nikotiiniamidiadeniinidinukleotidifosfaatti

OEC = happea kehittävä kompleksi, vettä hapettava kompleksi=WOC

PCR-sykli = fotosynteettinen hiilen pelkistys -sykli

PG = fosfoglykolaatti

PS I = fotosysteemi I

PS II = fotosysteemi II

R5P = riboosi-5-fosfaatti

Ru5P = ribuloosi-5-fosfaatti

Rubisco = ribuloosi-1,5-bisfosfaattikarboksylaasi-oksygenaasi

RuBP = ribuloosi-1,5-bisfosfaatti

S7P = sedoheptuloosi-7-fosfaatti

SBP = sedoheptuloosi-1,7-bisfosfaatti

TPP = tiamiinipyrofosfaatti

WOC = vettä hapettava kompleksi, happea kehittävä kompleksi = OEC

Xu5P = ksyluloosi-5-fosfaatti

1 Johdanto

Fotosynteesi on tärkein kemiallinen tapahtuma elämälle. Se on kemosynteesin lisäksi ainoa tapa, jolla autotrofiset eli omavaraiset eliöt hankkivat energiaa. Fotosynteesiä on tutkittu erittäin paljon. Aihe on kuitenkin hyvin ajankohtainen. Tämä näkyy esimerkiksi siinä, että fotosynteesi-tutkimuksessa pyritään löytämään uusia keinoja hillitä ilmastonmuutosta (Andersson ja Backlund, 2008), tuottaa energiaa (Allahverdiyeva et al., 2010) ja löytää uusia lääkintäkeinoja vaikeisiin sairauksiin (Nyman ja Hynninen, 2004).

Tämän tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa vaihtoehtoisten käsitysten esiintymistä fotosynteesin kemiasta, millaisia nämä ovat ja vaikuttaako niiden esiintymiseen vastaajan sukupuoli tai käytyjen kemian kurssien määrä. Tutkimuskirjallisuuden pohjalta keskeisimpiä vaihtoehtoisia käsityksiä eriasteisilla oppijoilla on useissa eri aiheissa. Näitä on tutkittu paljon ja fotosynteesin on todettu olevan yksi vaikeimmista opettavista aiheista (mm. Marmaroti ja Galanopoulou, 2006; Eisen ja Stavy, 1988; Haslam ja Treagust, 1987).

Suomessa ei ole tutkittu lukiolaisten vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesistä ennen tätä tutkimusta. Fotosynteesin kemian näkökulma fotosynteesin oppimiseen on tässä tutkimuksessa keskiössä yleisemmän biologisen näkökulman sijaan. Tärkeyttää fotosynteesiin liittyvien vaihtoehtoisten käsitysten tutkimukseen lisää se, että fotosynteesi on osana Suomen opetussuunnitelmia niin perusopetuksessa kuin lukiossakin (Opetushallitus, 2003 ja 2004).

Opiskelijoiden tulisi ymmärtää fotosynteesiä jo pelkästään siksi, että fotosynteesin, luonnon yhden keskeisimmän prosessin, ymmärtäminen on oleellinen osa toimiessa asioista päättävänä kansalaisena. Sjøbergin (2000) mukaan kansalaisen tulisi ymmärtää päätettävän asian tieteellinen perusta toimiakseen osana demokraattista järjestelmää ja olla mukana päättämässä siitä. Fotosynteesin tapauksessa tämä näkyy mm. energiataloudellisista asioista.

Fotosynteesi mielletään usein vain biologiseksi tapahtumaksi. Biologialla onkin merkittävä osuus fotosynteesin tutkimuksessa. Miksi myös kemiallinen näkökulma on tärkeä? Fotosynteesin on vahvasti sidottu kemiaan esimerkiksi näillä kuudella argumentilla:

1. Fotosynteesin tutkimuksessa on mukana lähes kaikki kemian osa-alueet, esimerkiksi fotokemia, elektrokemia, epäorgaaninen kemia, orgaaninen kemia, kvanttikemia, biokemia ja fysikaalinen kemia.
2. Klorofyllitutkimuksessa merkittävässä roolissa ovat erilaiset orgaanisen kemian reaktiot ja niiden mekanismeja koskevat teoriat, kuten nukleofiilien ja elektrofiilien reaktiot, substituuotiot, eliminaatit, vapaa-radikaalireaktiot, toisiintumiset, tautomeriat (keto-enoli-tautomeria ja NH-tautomeria metallivapailla klorofyllijohdoksilla), mesomeria eli resonanssi (tämä ei ole reaktio vaan yhdisteiden elektronirakenteita koskeva teoria), reduktiot ja oksidaatit.
3. Tutkittaessa ja käsiteltäessä fotosynteesiä on pystyttävä luokittelemaan eri molekyylit, esim. klorofyllit, karotenoidit, kinonit ja proteiinit. Tähän kemia tuo ratkaisun.
4. Jotta pystyy ymmärtämään klorofyllien osuudet primaarisissa valoreaktioissa, on pystyttävä käsittelemään aihetta kemiallisesti. Myös esim. Rubisco entsyymin katalysoimien karboksylaatioreaktion ja oksygenaatioreaktion mekanismien ymmärtäminen vaatii syvällistä orgaanisen kemian reaktiomekanismien hallintaa.
5. Klorofyllit ovat toimineet tieteen historiassa erittäin hyvinä malliyhdisteinä ja tutkimuskohteina käsiteltäessä esim. seuraavia aiheita: klorofyllin elektronirakenne, elektronien delokalisaatio, aromaattisuus, energian siirto ja elektronin siirto. (Hynninen, 1991)
6. Tulevaisuudessa esim. terveyteen ja ympäristöön liittyvässä tutkimuksessa tarvitaan fotosynteesin kemiallista osaamista. Tästä hyviä esimerkkejä ovat: Rubiscon funktio ilmaston lämmetessä (Andersson ja Backlund, 2008) ja klorofyllijohdokset syövän hoidossa. (Nyman ja Hynninen, 2004)

Tutkielma sisältää kolme osaa: teoreettisen viitekehyksen (luvut 2 ja 3), tutkimuksen toteutuksen ja tulokset (luvut 4 ja 5) sekä johtopäätökset ja pohdinnan (luku 6). Teoreettisessa viitekehyksessä käsitellään fotosynteesin kemiaa (luku 2) ja fotosynteesin oppimista ja opetusta (luku 3). Kemiallinen selvitys on rajattu liittymään siihen, mitä kasvien fotosynteesiin tarvitaan, mitä siinä tapahtuu ja mitä fotosynteesissä muodostuu tai vapautuu. Fotosynteesiä käsitellessä tuodaan esille sen energian ja elektronin kuljetusreitit sekä aineiden kierto. Juuri näissä asioissa oppilailla on lukuisia vaihtoehtoisia käsityksiä teoreettisen viitekehyksen toisessa osassa käsitellyn tutkimuskirjallisuuden mukaan (esimerkiksi Marmaroti ja Galanopoulou, 2006). Käytetty tutkimusmetodi, Survey-tutkimus, esitellään luvussa neljä mahdollisimman yksityiskohtaisesti. Tutkimuksesta saadut tulokset esitellään tutkimuskysymysten mukaisessa järjestyksessä luvussa viisi. Kahdeksannessa luvussa verrataan saatuja tuloksia teoreettiseen viitekehykseen ja pohditaan tutkimuksen merkitystä sekä mahdollista jatkotutkimusta aiheesta.

2 Fotosynteesin kemiaa

Tämän luvun tarkoitus on saada lukijalle selkeä kokonaiskuva vihreiden kasvien fotosynteesistä. Luvun alussa esitellään fotosynteesin ja sen tutkimuksen historiaa. Tämän jälkeen esitellään fotosynteesin edellytyksiä, kloroplastin rakennetta, energian ja elektronien kulkua ja lopuksi fotosynteesiprosessin tuotteita.

2.1 Fotosynteesi-tutkimuksen tiivistetty historia

Tämä luku käsittelee pääosin vettä hapettavaa eli oksygeenistä fotosynteesiä. Siksi tämä tutkimuksen historiaa käsittelevä osuus on rajattu vastaavasti.

- 1727** Englantilainen S. Hales: Vesihöyryn tilavuus kasvin ympärillä muuttuu kasvatettaessa kasvia suljetussa tilassa.
- 1754** Sveitsiläinen C. Bonnet: Nesteeseen upotetut kasvin lehdet tuottavat kuplia.
- 1772** Englantilainen J. Priestley: Kasvi "puhdistaa" kynttilän saastuttamaa ilmaa. Samoihin aikoihin ranskalainen A. Lavoisier rupesti käyttämään hapestä termiä happi.
- 1779** Hollantilainen J. Ingen-Housz: Ymmärsi kasvien tarvitsevan auringon valoa, jotta näitä kummallisia kuplia muodostuisi. Myöhemmin, vuonna 1796, hän ymmärsi kasvin tarvitsevan hiilidioksidia hiilen lähteeksi.
- 1818** Ranskalaiset P.-J. Pelletier ja J.-B. Caventou: Nimesivät lehtien vihreät pigmentit klorofylleiksi.
- 1837** Saksalainen H. von Mohl: Löysi kloroplastin.
- 1845** Saksalainen J. R. Mayer: Valon energiaa muutetaan kemialliseksi energiaksi.
- 1862** Saksalainen J. von Sachs: Löysi ensimmäisen fotosynteesin näkyvän tuotteen, tärkkelyksen.
- 1874–1877** Venäläinen C. Arkad'evitch: Punainen valo on fotosynteesille tehokkainta.
- 1893** Amerikkalainen C. Barnes: Ehdotti tapahtumalle nimeä fotosyntaksi (fotosyntax) tai vaihtoehtoisesti fotosynteesi (photosynthesis).
- 1905** Venäläinen K. Mereschkowsky: Kloroplastit kasveille syanobakteereilta. (Govindjee et al., 2004)
- 1915** Saksalainen R. Willstätter: Nobel-palkinto klorofyllitutkimuksista.
- 1930** Saksalainen H. Fischer: Nobel-palkinto hemiinin ja klorofyllirakenteiden selvittämisestä ja hemiinin totaalisynteesistä.

- 1931** Saksalainen O.H. Warburg: Respiratoristen entsyymien luonteesta saatu Nobel-palkinto.
- 1961** Amerikkalainen M. Calvin: Nobel-palkinto hiilidioksidin assimilaatiosta kasveissa.
- 1965** Amerikkalainen R.B. Woodward: Nobel-palkinto huomattavista saavutuksista orgaanisen synteesin taidoissa, erityisesti klorofylli a:n totaalisynteesistä.
- 1978** Englantilainen P.D. Mitchell: Nobel-palkinto kemiosmoositeorian avulla selitetystä biologisen energian siirtymisestä.
- 1988** Saksalaiset J. Deisenhofer, R. Huber ja H. Michel: Nobel-palkinto fotosynteesin reaktiokeskuksen 3D-rakenteen selvittämisestä.
- 1992** Amerikkalainen R.A. Marcus: Sai Nobel-palkinnon elektroninsiirtoreaktioita koskevista tutkimuksistaan.
- 1999** Egyptiläinen A.H. Zewail: Sai Nobel-palkinnon femtosekunti-spektrokopian käytöstä tutkittaessa kemiallisten reaktioiden siirtymätiloja. (Govindjee et al., 2004; Govindjee ja Krogmann, 2004; Hynninen, 1990)

2.2 Fotosynteesin evoluutio

Fotosynteesin mekanismi on monimutkaisen evoluutioprosessin tulos, joka on kehittynyt miljardien vuosien aikana ja se kehittyy yhä. On todennäköistä, että kasvien kloroplasti on kehittynyt eri organismien lukuisten endosymbioosien tuloksena. Klorofyllin kehittyminen on alkanut noin 3,5–3,85 miljardia vuotta sitten. Huomioitavaa on, että siihen ei ole kulunut kuin 600–800 miljoonaa vuotta Maapallon muodostumisesta. (Amunts ja Nelson, 2008; Herrmann ja Westhoff, 2001) Kloroplastin evoluution kulkua on selitetty endosymbioositeorialla (Tirri et al., 2003, 140) ja sen mukaan kloroplastin kehittyminen on alkanut fotoautotrofisen eli omavaraisen syanobakteerin endosymbioosilla mitokondrioita sisältävään heterotrofiseen eli toisenvaraiseen soluun. Toisaalla heterotrofinen prokaryootti on päätenyt prokaryoottiseen tai protoeukaryoottiseen soluun endosymbioosin avulla. Näitä tapahtumia kutsutaan primaarisiksi endosymbioosiksi. (Herrmann ja Westhoff, 2001)

2.3 Fotosynteesin edellytykset

Valon merkitys fotosynteesissä on erittäin tärkeä. Valon lisäksi rajoittavana tekijänä fotosynteesissä voi olla joko lämpötila tai veden, hiilidioksidin tai ravinteiden saatavuus. Nämä osatekijät voivat toimia rajoittavina elementteinä yksin tai yhdessä, jolloin kasvi fotosyntetisoi rajoitetusti. (Lawlor, 2001, 1-3)

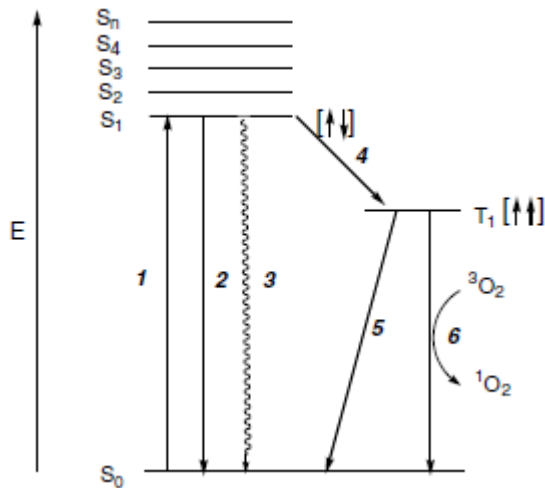
2.3.1 Valo

Valo on kasveille elintärkeä energian lähde. Kasvit saavat energian lisäksi valosta informaatiota ympäristöstä. Itäessään siementen idut suuntaavat kohti valoa. Valolle altistuminen saa aikaan mm. sirkkalehtien aukeamisen ja fotosynteettisten pigmenttien kuten klorofyllien ja karotenoidien syntetisoimisen. (Malakhov ja Bowler, 2001) Fotosynteesin kehittyneimmässä muodossa, oksygeenisessä fotosynteesissä, muodostetaan samaan aikaan hiilihydraatteja CO_2 :sta ja H_2O :stä, kun valoenergiaa absorboidaan. (Ihalainen, 2002) Oksygeeninen fotosynteesi voidaan esittää seuraavanlaisena hapetus-pelkistysreaktiona:

Kaava 1: $6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow{\text{valo}} 6O_2 + (C_6H_{12}O_6) + 6H_2O + 2870 \text{ kJ/mol}$. (Whitmarsh ja Govindjee, 1995)

Molekyylin, esimerkiksi klorofyllin, absorboidessa valoa elektroni siirtyy korkeampienergiselle molekyyliorbitaalille. Elektroni siirtyy elektroniselta perustilalta viritystilalle. Koska valo on energiaa, niin aineen absorboidessa valoa aineen molekyylien energiapitoisuus kasvaa. Kun viritystilan orbitaalilla olevan yksinäisen elektronin spin on vastakkaisuuntainen verrattuna perustilan ylimmän orbitaalin parittomaksi jääneen elektronin spinniin, niin kyseessä oleva viritystila on singlettitila. (Nyman ja Hynninen, 2004; Zubay, 1988, 570-571)

Singlettitilaa merkitään S-kirjaimella. Singlettitilan kokonaisspin $S = \frac{1}{2} + (-\frac{1}{2}) = 0$. Kerrannaisuus eli multiplisiteetti on $2S + 1 = 1$. Triplettitilan kokonaisspin on $\frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$, koska viritystilan orbitaalin ja perustilan ylimmän orbitaalin parittomat elektronit ovat samansuuntaiset. Tämä spin on periaatteessa kielletty, mutta se on tarpeeksi pitkäikäinen ottamaan osaa kemiallisiin reaktioihin. Kerrannaisuus on tällöin kolme, ja triplettitilaa merkitään T-kirjaimella. S_0 on perustila ja S_1 on ensimmäinen virittynyt singlettitila. T_1 on ensimmäinen virittynyt triplettitila, katso kuva 1. Molekyylin viritys voi S_1 -tilalta purkautua siten, että muodostuu fluoresenssi-säteilyä tai voi tapahtua sisäinen konversio. Vaihtoehtoisesti voi tapahtua systeemien välinen siirtymä singlettitilalta S_1 triplettitilalle T_1 . Tämä välivaihe voi purkautua fosforesenssinä. Kuvan 1 kohdassa 6 muodostuu reaktiivista singlettihapetta 1O_2 energian siirtyessä T_1 -tilalta triplettihapelle 3O_2 . (Nyman ja Hynninen, 2004; Zubay, 1988, 564)



KUVA 1. Modifioitu Jablonskin diagrammi. Fotofysikaalisia prosesseja. (Nyman ja Hynninen, 2004)

Fotofysikaaliset prosessit: **1.** absorptio, **2.** fluoresenssi, **3.** sisäinen konversio, **4.** järjestelmän sisäinen ylitys, **5.** fosforesenssi **6.** singlettihapen muodostus.

Kaksi tärkeintä fotosynteesilaitteiston proteiinikompleksia ovat PS I ja PS II. Nämä muodostuvat reaktiokeskusosasta (RC) ja valoa keräävistä komplekseista (LHC). LHC:n antenniklorofyllit ja karotenoidit absorboivat valoenergian. (Ihalainen, 2002; Yoshihara ja Kumazaki, 2000)

Fotosynteesissä on mahdollista absorboida valoa aallonpituusalueella 350–1050 nm. Fotosynteettisiä pigmenttejä on lukuisia erilaisia ja niiden absorptiospektrit ovat erilaisia. (Hynninen ja Leppäkases, 2004) Ihmissilmä näkee aallonpituusalueen 400–800 nm ja tätä säteilyä kutsumme usein näkyväksi valoksi. (Lawlor 2001, 17) On arvioitu, että fotosynteesissä muodostuu noin 5×10^{10} tonnia orgaanista hiiltä samalla kun siinä vapautuu 13×10^{10} tonnia happea ja sidotaan 20×10^{11} tonnia hiilidioksidia. (Hynninen ja Leppäkases, 2004)

Fotosynteesi toimii ihmeellisellä tehokkuudella. Kun antenniklorofyllit ja karotenoidit ovat ensin absorboineet valon ja muuntaneet sen singlettitilojen viritysenergiaksi, ne johtavat viritysenergian pikosekunneissa reaktiokeskuksiin (RC), joissa se muunnetaan kemialliseksi energiaksi varausten erkanemisprosessin kautta. Energiansiirrolle on esitetty erilaisia näkemyksiä, joista Försterin dipoli-dipoli-vuorovaikutusteoria on ollut vallitsevin. Siinä viritysenergian siirtonopeus on kääntäen verrannollinen donorin ja akseptorin välisen etäisyyden kuudenteen potenssiin. (Lawlor, 2001, 26; Hynninen, 1990; Hynninen ja Leppäkaskes, 2004)

2.3.2 Hiilidioksidi

Fotosynteesissä hiilidioksidin saatavuus on yksi perusedellytys, jotta reaktio olisi edes mahdollinen. Hiilidioksidia tarvitaan sokeriyhdisteiden muodostamiseen PCR-syklissä. (Calvin ja Bassham, 1962, 8) PCR-sykli on usein nimetty yhden löytäjänsä mukaan Calvinin sykliseksi, mutta kuvaavampi nimi tälle monimutkaiselle reaktioiden sarjalle olisi fotosynteettinen hiilen pelkistys-sykli eli PCR-sykli (photosynthetic carbon reduction cycle). (Lawlor, 2001, 140) PCR-sykli nimenä selvittää tapahtuman luonnetta parhaiten. PCR-sykli nimestä selviää sen olevan hiileen, pelkistymiseen ja fotosynteesiin liittyvä ja lisäksi syklimäinen. PCR-syklissä Rubisco eli ribuloosi-1,5-bisfosfaattikarboksylaasi-oksygenaasi katalysoi hiilidioksidin liittymistä ribuloosi-1,5-bisfosfaattiin eli RuBP:iin. Rubisco on maapallon yleisin entsyymi ja tärkein entsyymi biomassan tuottamisessa hiilidioksidista. (Gutteridge ja Jordan, 2001) Rubiscon aktivaatioon tarvitaan kahden arvoista magnesium-ionia (Mg^{2+}). Se auttaa hiilidioksidia sitoutumaan reaktion välivaiheessa stabiloimalla negatiivista varausta. (Berg et al., 2006, 568)

Kansainvälisen ilmastonmuutospaneelin (IPCC, International Panel on Climate Change) mukaan vuonna 1990 hiilidioksidia oli ilmassa 354 $\mu\text{l/l}$ ja se tulee kohoamaan vuoteen 2050 mennessä arvoon 530 $\mu\text{l/l}$ ja tämän jälkeen nousten aina 700 $\mu\text{l/l}$ arvoon asti vuosisadan loppuun mennessä. Tämä vaikuttaa fotosynteesiin siten, että se lisää nettofotosynteesin määrää tiettyyn hiilidioksidin osakonsentraatioarvoon asti. Aihe on tärkeä etenkin ilmastonmuutosta käsiteltäessä. (Vandermeiren et al., 2002)

Ilman hiilidioksidi diffundoituu lehden ilmarakojen kautta sytoplasmaan. CO₂ kuljetetaan kloroplastiin joko kaasuna tai bikarbonaattina sytoplasmaan liuenneena:

Kaava 2:

Hiilidioksidi ja bikarbonaatti kuljetetaan aktiivisesti membraanien läpi ennen kuin ne pääsevät osallistumaan PCR-sykliin. (Lüttge, 2007)

2.3.3 Vesi

Fotosynteesissä hiilidioksidin lisäksi toinen tarvittava lähtöaine reaktioon on vesi. Sitä kasvit ottavat ympäristöstään erilaisin menetelmin. Pääasiassa maakasvit saavat fotosynteesiin tarvittavan vetensä osmoosin ja juuripaineen avulla maasta. (Tirri et al., 2003, 515) Vettä hajotetaan hapeksi ja vedyksi PS II:n lähellä olevassa happea kehittävässä kompleksissa (OEC). (Hynninen ja Leppäkaskes, 2004)

2.3.4 Lämpö

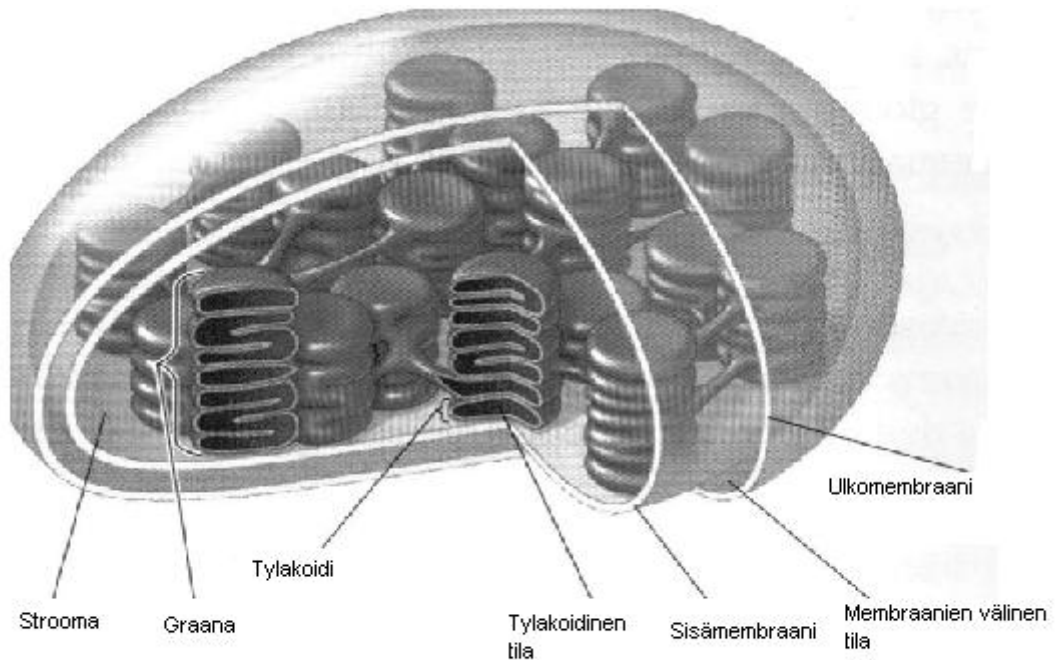
Lämpötila vaikuttaa selvästi fotosynteesin tehokkuuteen. Fotosynteesin lämpötila erilaisilla kasveilla voi vaihdella hyvinkin paljon, esim. aavikon kasvit ja tundran kasvit. (Lawlor, 2001, 329-331) Lämpötilan nousu lisää niin hiilidioksidin kuin hapenkin liukoisuutta veteen ja tämä vaikuttaa siten, että enemmän substraattia on mahdollista liittyä RuBP:iin. (Gutteridge ja Jordan, 2001) Liian korkeissa tai matalissa lämpötiloissa RuBP:n tarjonta vähenee adenosiinitrifosfaatin (ATP) ja pelkistyneen nikotiiniamidiadeniini-dinukleotidifosfaatin (NADPH) synteesien vähenemisen seurauksena. Kasvit voivat adaptoitua eri lämpötiloihin. Se on erittäin monimutkainen ja lajista riippuva prosessi. (Lawlor, 2001, 329-331)

2.3.5 Muut ravinteet

Kasvit tarvitsevat ympäristöstään monia erilaisia kemiallisia aineosia voidakseen muodostaa monimutkaisia rakenteita ja järjestelmiä. Nämä ravinteet toimivat rajoittavina tekijöinä kasvin kasvussa ja näin ollen myös fotosynteesissä. Jos tarvittavan aineosan tarjonta on pienempi kuin kasvin tarve, fotosyntetisoi kasvi rajoitetusti. Näin tietysti on vain, jos muut vaadittavat osatekijät ovat suotuisia. Esimerkiksi typpeä kasvi tarvitsee klorofylleihin ja yleisesti proteiineihin. Rautaa kasvit tarvitsevat muodostamaan Riesken rauta-rikki-keskuksia, ferredoksiineja ja sytokromeja, jotka ovat tärkeässä osassa elektronien kuljetuksessa. (Lawlor, 2001, 343)

2.4 Kloroplastin rakenne

Kloroplasteja on kasvin lehdissä noin puoli miljoonaa kappaletta neliömillimetriä kohden. Kloroplastit sijaitsevat pääosin lehtien sisärakenteissa, mesofyllissä. Kloroplastin ympäröi kaksi kalvoa (kuva 2). Kloroplastin sisällä olevat kalvorakenteet, joita nimitetään tylakoideiksi, ovat pakkaantuneet kimpuiksi. Kimppuja kutsutaan graanoiksi. Stroomassa on nestettä, joka ympäröi tylakoideja. Strooman ja tylakoidisen tilan eli luumenin erottavat toisistaan tylakoidien kalvorakenteet. (Campbell et al., 2008, 187)

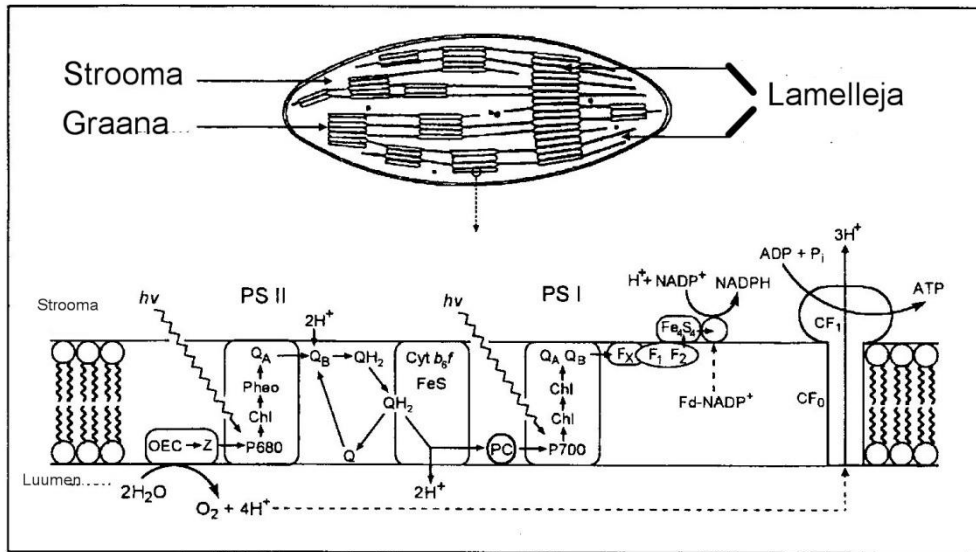


KUVA 2. Kloroplasti. (Campbell et al., 2008, 187)

2.5 Energian ja elektronien kulku

2.5.1 Valoreaktiot

Oksygeenisten eli vettä hapettavien organismien fotosynteesilaitteisto sijaitsee kloroplastien tylakoidimembraanissa. Laitteistoa kutsutaan Emersonin ja Arnoldin fotosynteettiseksi yksiköksi (PSU). Se koostuu kahdesta toisiinsa vahvasti kytkeytyneestä fotosysteemistä. Nämä fotosysteemit, PS I ja PS II, toimivat yhteistyössä valonkeruussa ja energian- ja elektroninsiirrossa, katso kuva 3. (Hynninen ja Leppäkesä, 2004)



KUVA 3. Vettä hapettavien organismien fotosynteesilaitteisto (Hynninen ja Leppäkases, 2004).

Lyhenteet: OEC = happea kehittävä kompleksi, Z = elektroneja välittävä komponentti, joksi on ehdotettu proteiinin tyrosiinijäännöstä (Tyr_Z), P680 = PS II:n reaktiokeskusklorofylli, Chl = klorofylli, Pheo = feofytiini, Q_A ja Q_B = kinoneita, Cyt b₆f = sytokromi b₆ ja sytokromi f, FeS = rautasulfidikeskus, PC = plastosyaniini, F_x, F_A, F_B, Fe₄S₄ = ferredoksiineja, CF₀ – CF₁ = ATP-syntaasi

2.5.1.1 Fotosysteemi II

PS II on klorofylliproteiinikompleksien dimeeri, joka sisältää 17 alayksikköä. Niihin on sitoutunut non-kovalenttisesti 35-40 klorofylliä ja 8-12 karotenoidia. (Fromme et al. 2006) PS II muodostuu reaktiokeskuksesta ja valoakeräävistä komplekseista eli antennisysteemistä. PS II:n tärkein tehtävä on elektronien riisto vesimolekyyleiltä. PS II katalysoi elektroninsiirtoa vedeltä plastokinonille. PS II:ssa muodostuu neljä elektronia ja neljä protonia aina kahta vesimolekyyliä kohden:

Kaava 3: $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$. (Hynninen, 1990; Hynninen ja Leppäkases, 2004)

PS II:ssa valo kerätään pigmenttiproteiinien muodostamien antennien avulla viritysenenergiaksi, joka johdetaan nopeasti energiapyydyksiin. PS II:n antennisysteemi sisältää noin 40 antenniklorofylliä. PS II:n energiapyydyys ja reaktiokeskusklorofylli on P680 klorofyllierikoispari, joka viritysenenergian siihen saapuessa hapettuu kationiradikaaliksi ($P680^{\cdot+}$). (Hynninen, 1990; Fromme et al., 2006) P680 on saanut nimensä siitä, että sen absorption huippu on aallonpituudella 680 nm. (Fromme et al., 2006) PS II:n välittömässä läheisyydessä on vettä hajottava entsyymi (water-splitting enzyme = water-oxidizing complex, WOC = oxygen-evolving complex, OEC). Se sisältää mangaaniatomien klusterin. Tätä kyseistä entsyymiä on kutsuttu jopa maailman tärkeimmäksi entsyymiksi. (Hynninen ja Leppäkases, 2004)

P680:lta elektroni siirretään feofytiinille. Tältä elektroni jatkaa matkaa kinonille Q_A . Q_B vastaanottaa kaksi elektronia ja muodostunut Q_B^{2-} sitoo itseensä kaksi protonia H^+ jatkaen eteenpäin sitoutumiskohdasta Q_BH_2 :na mahdollisesti lipidimerta pitkin sytokromi b_6 ja sytokromi f -kompleksille (Cyt b_6f). Tämä kompleksi riistää pelkistyneeltä kinonilta kaksi protonia ja kaksi elektronia. Hapettunut kinoni palaa kinonilammikkoon (quinone pool) ja sieltä täydennetään PS II:n tyhjäksi jäänyt kinonin paikka. (Hynninen, 1990; Voet ja Voet, 2004, 886-887)

Vettä hapettava kompleksi, WOC eli happea kehittävä kompleksi, OEC on PS II:n mielenkiintoisin osio. WOC sisältää neljän mangaaniatomin muodostaman klusterin, joka on sitoutunut PS II:n proteiiniin D1. Veden hajottamisessa tärkeitä ovat myös Ca^{2+} - ja Cl^- -ionit. Ca^{2+} -ioni on sitoutunut yhteen neljän Mn-atomin kanssa. On todennäköistä, että kolme Mn-atomia ja Ca^{2+} -ioni muodostavat yhdessä oman kompleksin neljännen Mn-atomin ollessa etäämmällä. (Fromme et al., 2006)

WOC akkumuloi kahdesta vesimolekyylistä muodostuneet neljä elektronia ja lähettää ne yksi kerrallaan elektroneja välittävälle komponentille, Z. Z siirtää elektronin elektronivajaalle klorofylli-erikoisparille, $P680^{\cdot+}$, joka pelkistyy alkuperäiseen muotoonsa, P680). Virittyneeltä $P680^*$ klorofylli-erikoisparilta elektroni siirtyy klorofylli a:n, feofytiini a:n, Q_A :n, Q_B :n ja Cyt b_6f -kompleksin välityksellä mobiilille plastosyaniinille, PC, joka siirtää elektronin PS I:n klorofylli-erikoisparin kationi-radikaalille, $P700^{\cdot+}$. (Hynninen ja Leppäkases, 2004)

OEC:sta ja Cyt b_6f :sta muodostuneet protonigradientit käytetään ATP-syntaasin $CF_0 - CF_1$:ssä muodostamaan ATP:tä. Nämä ATP-molekyylit ja valoreaktioiden toinen päätuote pelkistynyt NADPH käytetään PCR-syklissä muodostettaessa sokeria. (Lawlor, 2001, 121)

2.5.1.2 Fotosysteemi I

PS I on erittäin suuri membraaniproteiinikompleksi. PS I katalysoi valoenergian siirtymistä plastosyaniini-proteiinilta ferredoksiinille. Plastosyaniini-proteiini sijaitsee tylakoidin luumenin puoleisella osalla kalvoa, kun ferredoksiini sijaitsee tylakoidin strooman puoleisella osalla kalvoa. Niin oksygeenisiltä kuin ei-oksygeenisilta fotosynteesiin kykeneviltä organismeilta löytyy PS I. (Fromme et al., 2006)

Kasveilla PS I-kompleksissa on kaksi toimintayksikköä: reaktiokeskus ja antennisysteemi, vrt. PS II. PS I koostuu 11-13 proteiinialayksiköstä, joista kaksi suurinta, PsaA ja PsaB, muodostavat heterodimeerin, johon on sitoutunut valtaosa antennipigmenteistä (klorofyllit ja karotenoidit). (Gobets ja van Grondelle, 2001; Fromme et al., 2006) LHC:n tärkein tehtävä on valokvanttien kerääminen ja viritysenergian johtaminen reaktiokeskukseen. Siellä viritysenergia muunnetaan elektrokemialliseksi potentiaaliksi (Hynninen, 1990).

Reaktiokeskusklorofylli P700:ssa plastosyaniinilta saadut elektronit viritetään uudelleen valosta saadulla viritysenergialla. Viritysenergiaa pyydystää PS I:ssä P700 klorofyllierikoispari. P700:lta elektroni kuljetetaan välivaiheiden kautta kinonille Q_A , jolta elektroni siirtyy kinonille Q_B , kuten kuva 3 asiaa visualisoi. Fotosysteemi I:n virittyessä syntynyt pelkistin pelkistää ferredoksiinin, joka ferredoksiini-NADP⁺-oksidoreduktaasin kautta pelkistää NADP⁺:n NADPH:ksi. NADPH siirtyy PCR-sykliin, jossa sitä tarvitaan pelkistimeksi hiilihydraattien synteesissä. P700 on saanut nimensä vastaavasti kuin PS II:n P680. Sen absorption huippu on aallonpituudella 700 nm. (Gobets ja van Grondelle, 2001; Hynninen ja Leppäkaskes, 2004; Lawlor, 2001, 98)

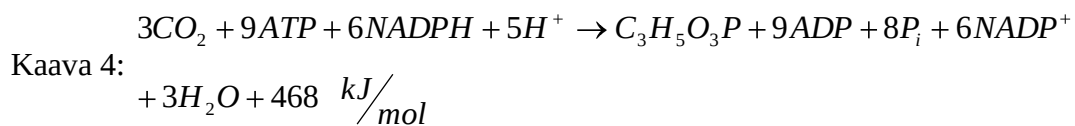
Yhteensä neljä kahdelta happimolekyyliltä riistettyä elektronia kuljetetaan kahdelle NADP⁺-molekyylille, jolloin muodostuu kaksi NADPH-molekyyliä. Tähän tarvitaan yhteensä 8–10 näkyvän valon fotonia.

2.5.2 Pimeäreaktiot

Pimeäreaktiot tapahtuvat pääasiassa, kuten valoreaktiotkin, lehtien kloroplasteissa. Pimeäreaktioiden säätely vaatii valoa. Pimeäreaktiot nimi voi tässä tapauksessa johtaa harhaan. (Lawlor, 2001, 139)

2.5.2.1 PCR- sykli

PCR-sykli tunnetaan paremmin Calvinin syklinä. Muita vaihtoehtoisia nimiä ovat esim. Calvin-Bassham-sykli, pelkistävä pentoosifosfaatti-reitti tai fotosynteesisykli. Reaktion monimutkaisuutta kuvaa reaktioyhtälö, josta selviää hiilidioksidin hiilen liittyminen sykliin:



(Lawlor, 2001, 140-141)

Tämä reaktioyhtälö kuvaa PCR-syklin osan, jossa muodostuu glyseraldehydi-3-fosfaattia (GAP, triosifosfaatti). Tätä hiilen liittymistä kutsutaan myös C3 fotosynteesiksi, ensimmäisen stabiilin tuotteen, GAP, mukaan. Kahta tätä sykliä täydentävää fotosynteesin muotoa sanotaan C4 ja CAM fotosynteesiksi. Tässä työssä näitä ei tarkastella erikseen, sillä niiden periaatteet ovat samat kuin C3 fotosynteesissäkin. C4 fotosynteesin ensimmäinen stabiili tuote on neljän hiilen ketju. Kasveista esim. sokeriruoko ja maissi noudattavat tätä vaihtoehtoista sykliä. CAM fotosynteesi on erikoistunut sykli etenkin kuivissa olosuhteissa kasvavilla kasveilla. C3 fotosynteesi on 13-osainen karboksylaatiosykli, jossa on mukana 11 entsyymiä. PCR-syklin tarkoitus on muodostaa RuBP:ta myöhempään hiilidioksidin liittämiseen eli pitää sykli jatkuvana. Syklin toiminnan jatkuvuuden kannalta ylimääräinen hiili kuljetetaan kloroplastista GAP:na tai käytetään muodostamalla tärkkelystä kloroplastissa. (Campbell et al., 2008, 203; Lawlor, 2001, 141)

Karboksyylaatioissa entsyymi nimeltään Rubisco katalysoi RuBP:n ja hiilidioksidin reaktiota, jossa muodostuu kaksi 3-fosfoglyseraattimolekyyliä (3PG), katso reaktiota 1 kuvasta 4. Toisessa vaiheessa 3-fosfoglyseraattikinaasi fosforyloi ATP:n avulla 3PG:n reaktiivisemmalle tasolle (reaktio 2). Kolmas vaihe on trioosifosfaattidehydrogenaasi-entsyymien katalysoima. Tämä entsyymi tarvitsee NADPH-koentsyymiä reaktioon. Tämä on ainoa pelkistysreaktio PCR-syklissä ja on tämän vuoksi erityisen merkittävä (reaktio 3). Siinä muodostuu GAP:a, joka muokataan trioosifosfaatti-isomeraasin avulla dihydroksiasetonifosfaatiksi (DHAP) (reaktio 4). Reaktiossa 5 trioosifosfaatit kondensoidaan kuuden hiilen ketjuksi fruktoosi-1,6-bisfosfaatiksi (FBP). Tämä reaktio tapahtuu alkalisissa olosuhteissa kloroplastin stroomassa. FBP defosforyloidaan reaktiossa 6 fruktoosi-6-fosfaatiksi (F6P) fruktoosibisfosfataasin avulla. Tämä kohta ei ole reversiibeli ja toimii yhtenä kontrollipisteenä koko syklille. (Lawlor, 2001, 143)

Reaktiossa 7 transketolaasi poistaa niin F6B:n kuin sedoheptuloosi-7-fosfaatin (S7P) hiiliketjusta kahden hiilen pätkän. S7P on reaktiossa kiinnittynyt tiamiinipyrofosfaattiin (TPP). Tässä reaktioiden summana muodostuu erytroosi-4-fosfaattia (E4P) ja TPP:ta, johon on sitoutunut kahden hiilen yksikkö. E4P reagoi aldolaasin katalysoimassa reaktiossa DHAP:n kanssa muodostaen sedoheptuloosi-1,7-bisfosfaattia (SBP) (reaktio 8). Tämä defosforyloidaan sedoheptuloosibisfosfataasi-entsyymien avulla, jolloin muodostuu S7P:tä. S7P:tä käytetään jo mainitun seitsemännen reaktion lisäksi riboosi-5-fosfaatin muodostamiseen reaktiossa 10. Saatu riboosi-5-fosfaatti muutetaan ribuloosi-5-fosfaatiksi eli Ru5P:ksi reaktiossa 11 isomeraasin avulla. Toinen viiden hiilen sokeri, ksyluloosi-5-fosfaatti (Xu5P), muodostuu reaktiossa 12 transketolaasin avulla. Tämä Xu5P muokataan Ru5P:ksi fosfopentoosi-epimeraasin avulla. Viimeisin vaihe (reaktio 14) on Ru5P:n fosforylaatio, jossa kuluu ATP:tä samalla kun muodostuu RuBP:a kinaasin katalysoimassa reaktiossa. (Lawlor, 2001, 143)

Rubiscon merkitys syklissä on todella suuri. Lehden sisällä olevista liukoisista proteiineista on arvioitu olevan jopa 50 prosenttia Rubiscoa. Rubiscon tärkeyden takia sitä on tutkittu erittäin paljon. Se on poikkeuksellisen hidas katalysaattori. RuBP:lla on karboksylaatioreaktio hiilidioksidin kanssa samaan aikaan, kun sillä on kilpaileva sivureaktio hapen kanssa eli oksygenaatio. (Andersson ja Backlund, 2008; Lawlor, 2001, 144; Lüttge, 2007)

Karboksylaatioreaktio:

Kaava 5: $RuBP + CO_2 = 2 \times 3-PGA$.

Oksygenaatioreaktio:

Kaava 6: $RuBP + O_2 = fosfoglykolaatti(PG) + 3-PGA$. (Roy ja Andrews, 2000)

Oksygenaatioreaktiossa muodostunut fosfoglykolaatti kuljetetaan kloroplastin ulkopuolelle ja käytetään hyväksi fotorespiraatioissa, joka tapahtuu mitokondrioissa ja peroksisomeissa. Karboksylaation reaktionopeus on normaaliolosuhteissa neljä kertaa oksygenaation reaktionopeus. Lämpötilan noustessa oksygenaatioreaktio nopeutuu enemmän kuin karboksylaatioreaktio. (Berg, 2006, 568; Lawlor, 2001, 146-154; Lüttge, 2007)

2.6 Fotosynteesin tuotteet

2.6.1 Hiiltä sisältävät

Kaikki kasvin käyttämä hiili, esimerkiksi sokereissa, on peräisin PCR-syklistä. Tämä hiili voidaan käyttää jatkossa joko glykolyysissä tai soluhengityksessä. Sokereista muodostetaan monia erityyppisiä sokereita ja polymeerejä varastoitaviksi tai käytettäviksi. Sokerit luokitellaan niiden sisältämien hiiliatomien perusteella. Esimerkiksi sokerituotteita ovat seuraavat sokerit: erytroosi (tetroosi), aribinoosi (pentoosi), glukoosi (heksoosi), fruktoosi (heksoosi), maltoosi (disakkaridi) ja tärkkelys (polysakkaridi). Tärkkelys (amyloosi ja amylopektiini) on tärkein muoto varastoida hiilivetyjä. Hiiltä varastoidaan myös sakkaroosina, joka on disakkaridi eli se muodostuu kahdesta monosakkaridista fruktoosista ja glukoosista. Se on myös yleinen muoto kuljettaa hiiltä kasvin sisällä. (Lawlor, 2001, 185-191)

2.6.2 Happi

Reaktioyhtälöstä (kaava 3) selviää, miksi fotosynteesissä muodostuu molekylaarista dihappea. Huomioitavaa on, että O_2 on kasveille vain sivutuote fotosynteesissä ja se on niille jopa haitaksi. Toisaalta eliöille dihappi on elintärkeä soluhengityksessä. Kaavasta 3 on tärkeää huomata, että fotosynteesissä muodostuva happimolekyyli on peräisin vedestä eikä hiilidioksidista. (Fromme et al., 2006)

3 Fotosynteesin opetus ja oppiminen

Tässä luvussa käsitellään keskeisiä oppilaiden ja opiskelijoiden vaihtoehtoisia käsityksiä sekä opetusmalleja siitä, kuinka näitä vaihtoehtoisia käsityksiä on tutkimusten mukaan pyritty vähentämään. Lisäksi tässä luvussa käsitellään Suomen opetussuunnitelmien perusteiden sisältöjä fotosynteesin kannalta. Liitteessä 3 on taulukoitu löydetty tutkimuskirjallisuus.

3.1 Oppilaiden ja opiskelijoiden käsityksiä

Oppijan käsitystä jostakin tietystä aiheesta, mikä poikkeaa tiedeyhteisössä vallitsevasta näkemyksestä, kutsutaan monilla eri termeillä. Näitä termejä on esimerkiksi vaihtoehtoinen käsitys, vaihtoehtoinen viitekehys tai virhekäsitys (Lumpe ja Staver, 1995; Amir ja Tamir, 1990). Näistä termeistä tässä tutkimuksessa on käytetty termiä vaihtoehtoinen käsitys.

Fotosynteesiin liittyviä vaihtoehtoisia käsityksiä on tutkittu paljon, ja fotosynteesin on todettu olevan yksi vaikeimmista opettavista aiheista (mm. Marmaroti ja Galanopoulou, 2006; Eisen ja Stavy, 1988; Haslam ja Treagust, 1987). Fotosynteesi on osana useimpien maiden opetussuunnitelmia. Fotosynteesin vaikeus johtuu siitä, että se on erittäin kompleksinen tapahtumasarja, jonka ymmärtämiseen tarvitaan useita eri tieteenhaarojen osaamista, kuten biologian, fysiikan ja kemian osaamista. Toisaalta fotosynteesin perusteiden ymmärtämistä vaaditaan monissa muissa tieteen alojen ymmärtämisessä. Tämä näkyy esimerkiksi ekosysteemin toiminnan ja aineiden kiertokulun ymmärtämisessä. (Marmaroti ja Galanopoulou, 2006; Waheed ja Lucas, 1992; Carlsson, 2002a; Carlsson, 2002b)

Fotosynteesin oppimiseen liittyviä ongelmia lisää se, että aiheen opettajilla ei ole fotosynteesistä tarvittavia tietoja. Opettajilla voi olla lukuisia vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesiin liittyvässä teoriassa, joita he mahdollisesti siirtävät suoraan opettavilleen. Tämä on ongelma, joka on todettu etenkin luokanopettajilla ja yliopistolla biologiaa sivuaineenaan lukevilla. (Käpylä et al., 2009; Anderson et al., 1990)

Oppilailla on lukuisia vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesistä. Etenkin fotosynteesin kemian hankaluus tulee esille pohdittaessa energian muuttumista valoenergiasta kemialliseksi energiaksi, muodostettaessa reaktioyhtälöä fotosynteesistä ja pohdittaessa sitä, miten kasvit saavat hiilen biomassansa kasvattamiseen (Marmaroti ja Galanopoulou, 2006; Özay ja Öztas, 2003). Fotosynteesiä ja hengitystä tutkittaessa on tullut selkeästi ilmi, että suurella osalla oppilaista ja opiskelijoista on käsitys etteivät kasvit hengitä. Monet vaihtoehtoisista käsityksistä liittyvät fotosynteesin ja hengityksen suhteeseen. Osa oppilaista esimerkiksi luulee, että fotosynteesi on kasvien hengitystä, mutta tapahtuu kaasujen osalta päinvastaisena prosessina kuin eläimillä. Opiskelijoille on tuttu käsite rajoittava tekijä, mutta heidän oli vaikea soveltaa sitä fotosynteesiin. Vain noin puolet tutkittavista pystyi soveltamaan rajoittavan tekijän käsitettä fotosynteesissä, kun piti tulkita graafista kuvaajaa ja pohtia siitä, mikä mahdollisesti eri vaiheissa rajoittaa prosessia. (Lumpe ja Staver, 1995; Amir ja Tamir, 1990; Eisen ja Stavy, 1988). Useat opiskelijat eivät ymmärrä klorofyllin roolia fotosynteesissä (Marmaroti ja Galanopoulou, 2006). Yksi keskeinen ongelma opettaessa fotosynteesiä on, että oppilaat ja opiskelijat eivät useinkaan ymmärrä fotosynteesiä kompleksisena biokemiallisena prosessina. (Amir ja Tamir, 1990) Kasvien ei ymmärretä olevan autotrofisia, vaan niiden luullaan saavan ravintonsa maasta (Eisen ja Stavy, 1988).

Haslam ja Treagust (1987) ja Treagust (1986) osoittavat tutkimuksissaan, että fotosynteesiin liittyvien vaihtoehtoisten käsitysten määrä pienenee siirryttäessä luokkatasoilla ylemmäksi, mutta sukupuolella ei ole merkitystä vaihtoehtoihin käsityksiin. He osoittivat tutkimuksissaan, että myös korkeampien luokka-asteiden opiskelijoilla on lukuisia vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesin keskeisissä asioissa. Myös eri korkeakouluopiskelijoilla on todettu lukuisia vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesistä ja hengityksestä (Käpylä et al., 2009; Anderson et al., 1990; Eisen ja Stavy, 1988).

3.1.1 Fotosynteesin vaihtoehtoiset käsitykset Suomessa

Suomessa on tutkittu fotosynteesiin liittyviä vaihtoehtoisia käsityksiä mm. Käpylän työryhmän (2009) ja Mikkilä-Erdmannin (2002) toimesta. Mikkilä-Erdmann esittelee väitöskirjassaan käsitteen muutoksia fotosynteesiprosessiin liittyen 11-13-vuotiailla oppilailla. Käsitteen muutoksia tuettiin erilaisilla tekstehtävillä, joiden vaikutusta oppimiseen testattiin alku- ja lopputestien tulosten muutoksella. Kontrolliryhmä ei käyttänyt käsitteen muutosta tukevia tekstejä opiskelussa, vaan niitä he saivat lukeakseen perinteisen fotosynteesistä kertovan tekstin. Tutkimuksen pääpaino oli fotosynteesin biologisella ymmärtämisellä. Kysymykset olivat avoimia, ja niitä oli 11.

Tuloksina väitöskirjan tutkimuksissa tuli esille, että käsitteelliseen muutokseen tähtäävä teksti auttoi oppilaita ymmärtämään paremmin fotosynteesiä suuremmassa mittakaavassa. Perinteinen koulukirjan teksti antoi paremmat oppimistulokset yksityiskohtia kysyttäessä, mutta kokonaisuuden ymmärtäminen jäi perinteisellä oppikirjatekstin lukemisella pieneksi. Tutkimuksesta ilmeni, että oppilaiden oli vaikea yhdistää arkielämän käsityksiä koulussa opittuihin käsityksiin. (Mikkilä-Erdmann, 2002, 25-28)

3.2 Opetusmalleja

Eisen ja Stavy (1992) vähentäisivät fotosynteesin opetuksessa yksityiskohtaisen tiedon määrää, etenkin nuorempien lasten kanssa tulisi minimoida termien lukumäärä. Tämä on todettu myös muualla kemian opetuksessa. Usein kemian opetuksessa käsitellään teoreettisia asioita liikaa ja turhan aikaisin. Esimerkiksi kvanttikemian mallien kautta opetettaessa ei huomioida niidenkin olevan vain approksimatiivisia malleja. Kokeellisuutta käytetään oppitunnilla lähinnä opetetun asian todistamiseen, ei niinkään mallien luontiin, arviointiin ja uudistamiseen. (Erduran, 1999)

3.2.1 Kontekstuaalisuus opetuksessa.

Fotosynteesin opetuksessa ongelmana on usein se, että opettaja ei muista aiheen olevan oppilaille hyvin abstrakti. Oppilaat eivät osaa yhdistää fotosynteesin merkitystä päivittäiseen toimintaansa (Ray ja Beardsley, 2008). Uusi informaatio kiinnittyy parhaiten muistiin, kun sen voi liittää johonkin samankaltaiseen jo aikaisemmin opittuun. Tieto, joka ei liity aikaisempaan, ei pysy kauan muistissa. Uuden asian oppimisessa on siis tärkeää, että löytyisi aina sopiva konteksti ja ympäristö, johon uusi asia voitaisiin helposti liittää. Konteksti on kokonaisuus, joka liittyy käsiteltävissä olevaan asiaan ja joka tuo mielekkyyttä opittavaan asiaan. Konteksteja on erilaisia: käytännönläheisiä, teoreettisia, sosiaalisia ja historiallisia. (Klassen, 2006)

Seuraavaksi esitellään erilaiset kontekstit ja näihin sopivia tutkimuskirjallisuudesta löydettyjä fotosynteesin teorian opetustapoja.

3.2.1.1 Käytännönläheinen konteksti

Käytännönläheisellä kontekstilla tarkoitetaan tieteiden oppimisessa lähinnä laboratoriotöitä, joissa oppilaat tutkivat joitakin tiettyjä luonnon ilmiöitä. Käytännönläheinen konteksti on tärkeää, sillä siinä oppilaat motivoituvat tieteen tekemiseen ja saavat kädentaitojen harjaantumista. Kokeellisen työn voi toteuttaa usealla eri tavalla. Keittokirjamaisesti toteutettu työ noudattaa oppilaille annettuja erittäin tarkkoja ohjeita. Toinen tapa on tutkia jotakin ilmiötä, jonka käyttäytymistä oppilaat eivät vielä tunne. Tällöin työn tulos ei ole etukäteen tiedossa. Kolmas ja Klassenin (2006) mukaan paras tapa on, että oppilaat suunnittelevat itse koejärjestelyn jostakin tietystä ilmiöstä, tekevät hypoteesin ja suorittavat koejärjestelyn. Tämä viimeinen tapa muistuttaa eniten todellista tieteellisen tutkimuksen tekemistä. Kaksi ensimmäistä tapaa voivat edistää oppilaiden harhakäsityksiä tieteen luonteesta.

Vallitsevan psykologisen käsityksen mukaan laboratoriotyöskentelyn on tarkoitus kehittää oppilaissa korkeamman tason ajattelutaitoja. Näitä on soveltaminen, analysointi, arviointi ja uuden tiedon luominen. Oppilaat ovat ikään kuin tieteen tutkijoita, jotka tekevät uutta tietoa ja arvioivat vanhan luotettavuutta. Opettaja on oppimisprosessissa taustalla, tarkkailee ja koordinoi tapahtumaa. Tarvittaessa opettaja tukee oppilaiden ajatteluprosessia. (Klassen, 2006)

Yksi käytännönläheiseen kontekstiin perustuva opetustapa, jonka on tutkitusti osoitettu toimivan, on 5E-menetelmä. 5E-menetelmällä tarkoitetaan viisivaiheista menetelmää, jonka englanninkieliset vaiheet ovat engage, explore, explain, extend ja evaluate. 5E-menetelmän vaiheet suomeksi ovat: motivoi, tutki, selitä, sovelleta ja arvioi. Opetustapana on tutkivaoppiminen syklisesti etenevässä prosessissa. Tällä opetustavalla huomioidaan erilaiset oppijat, oppiminen tapahtuu tieteellisen prosessin kaltaisena. Opetuksessa muodostetaan hypoteesi, testataan sitä, tehdään koe, analysoidaan tulokset ja arvioidaan tutkimus. Oppiminen tapahtuu työskentelyn ohessa. (Bybee et al., 2006)

Ray ja Beardsley (2008) esittelevät artikkelissaan opetustavan joka perustuu 5E-menetelmään. Tässä esitellyssä opetustavassa kokeellisuus suoritetaan vesikasveihin liittyvässä tutkivassa työskentelyssä. Vesikasvien fotosyntetisoidessa niitä ympäröivän suljetun vesiastian pH-arvot muuttuvat. Näitä arvoja mitatessa ja analysoidessa opiskelijat saavat todellisen käsityksen fotosynteesistä. Opiskelijoiden havainnoissa on käynyt ilmi, että pH-arvot ovat muuttuneet jopa 3 yksikköä fotosynteesin seurauksena. Happamuus muuttuu, koska kasvit vaikuttavat veden happi- ja hiilidioksidikonsentraatioihin. Menetelmän on todettu auttavan opiskelijoita ymmärtämään paremmin fotosynteesiä ja innostumaan siitä.

3.2.1.2 Teoreettinen konteksti

Teoreettinen konteksti on tieteen opiskelussa hyvin tärkeää; teoriaopiskelu ja käytäntö kulkevat käsi kädessä. Jos teoriaa ei ole sidottu arkipäivän kokemuksiin, jää se hyvin irralliseksi. Tämä on ongelmana opetuksessa, joka on liian oppikirjasidonnaista. Oppilaat voivat kehittää erilaisia teorioita ja selityksiä ilmiöille tehdessään kokeellisia töitä. Siitä huomataan, että tiede kehittyy koko ajan, eikä yhtä oikeaa totuutta ole. Teoriat tarkentuvat ja vääriä teorioita uudistetaan pitkän ajan kuluessa. Tämä on oleellinen osa tieteen luonnetta. (Klassen, 2006)

Fotosynteesin kannalta teoreettinen konteksti mukainen lähestymistapa olisi esimerkiksi aineidenkierto (Eisen ja Stavy, 1992).

3.2.1.3 Sosiaalinen konteksti

Sosiaalinen konteksti on tärkeä tieteen opiskelussa. Tieteen opiskelussa ryhmätyöt ovat osa hedelmällistä opiskelua. Jokainen ryhmän jäsen ajattelee ja ilmaisee näkemyksiään hieman eritavalla kuin muut. Ryhmä oppii yhdessä ja oppiminen on summa kaikkien panoksesta. Opettajan tulee huomioida ryhmätyöskentelyn aikana syntyvät vaihtoehtoiset käsitykset. Ryhmätyön edetessä on tärkeää, että ryhmä arvioi omaa toimintaansa ja pohtii kykeneekö se saavuttamaan sille asettamansa tavoitteet. Vertaisopettaminen on oleellinen osa ryhmätyöskentelyä. (Klassen, 2006)

Käsitekarttatekniikan, pari- ja pienryhmätyöskentelyn sekä vertaisopetuksen on todettu auttavan fotosynteesin opiskelussa (Brown, 2003; Lumpe ja Staver, 1992).

3.2.1.4 Historiallinen konteksti

Historiallisella kontekstilla tarkastellaan opiskeltavaa asiaa historian näkökulmasta. Opittava asia tulee konkreettisemmaksi, kun nähdään asia pitkän prosessin summana. Tieteen historiaa voidaan pitää jonkin käsitteen oppimisen lähtökohtana. Opittava asia opiskellaan historiaa myötäillen; miten opittava asia käsitettiin ja selitettiin eri aikoina. Koko ajan mietitään, miten ilmiön selittäminen on kehittynyt ja lopulta tullaan nykykäsitykseen. Historian saatossa samalle ilmiölle on tullut useampi erilainen selitys. Miksi toiset teoriat on hylätty ja toiset hyväksytty? (Klassen, 2006)

Tämän tutkimuksen luvuissa 2.1. ja 2.2. on esitelty fotosynteesitutkimuksen historia ja itse fotosynteesilaitteiston kehittymisen historia. Näiden avulla voisi fotosynteesin opetusta lähestyä historian avulla.

Erilaiset tarinat voivat toimia konteksteina, sillä tunteiden on todettu vaikuttavat oppimiseen. Jos opetettavan asian saa puettua tarinan muotoon, herättää se oppilaissa erilaisia tunteita, ja tarinan yksityiskohdat jäävät paremmin oppilaiden mieleen. Tämänkaltaista opettamista ei ole paljoa tutkittu ja siitä on vain vähän tuloksia. (Klassen, 2006). Carlsson (2003) esittää fotosynteesin opetukseen pedagogista draamaa, mutta tämän opetustavan oppimistuloksia ei ole tutkittu.

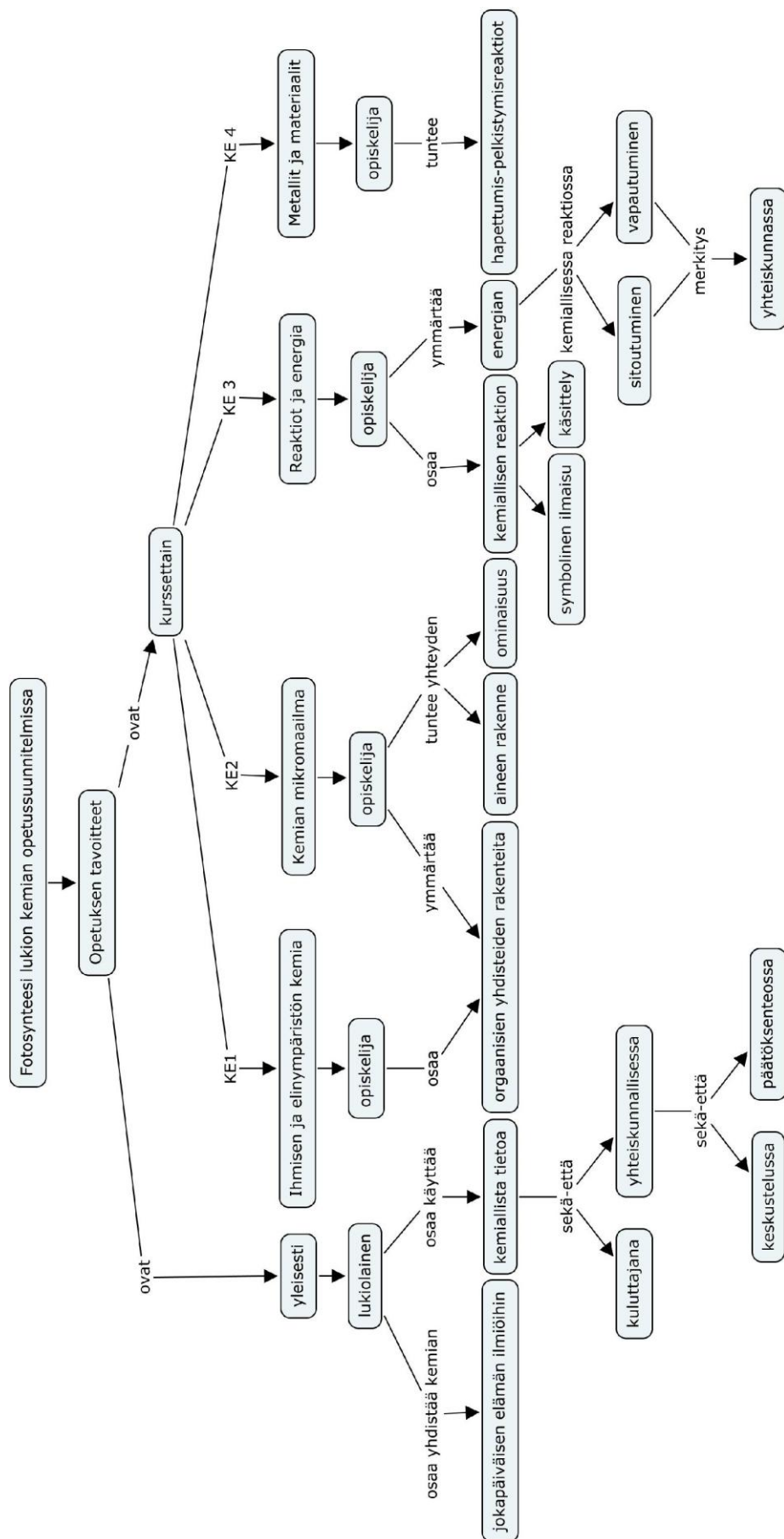
Konteksuaalisella opettamisella pyritään pääsemään lähemmäksi oppilaan ajatusmaailmaa ja on siten motivoivampi. Nämä yllä esitetyt kontekstuaalisuudet ovat usein hyvin päällekkäisiä ja niitä tulisikin käyttää monipuolisesti opetuksessa. (Klassen, 2006)

3.2.2 Muita oppimista edesauttavia opetustapoja

Tietokoneavusteiset materiaalien käyttö opetuksessa on todettu auttavan vähentämään vaihtoehtoisia käsityksiä (Çepnin työryhmä, 2006). Yenilmezin ja Tekkayan (2006) mukaan käsitteellisen muutoksen metodi ja tietoverkon välityksellä tapahtuva keskustelu auttavat jäsentämään oppilaiden ymmärrystä fotosynteesistä ja vähentämään vaihtoehtoisia käsityksiä. Käsitteelliseksi muutokseksi luonnehditaan tilanteita, joissa oppijan aikaisempi tietämys on olennaisesti ristiriidassa uuden ja opittavan tietämyksen kanssa. Näissä tilanteissa oppilaat ovat yleisesti taipuvaisia muodostamaan vaihtoehtoisia käsityksiä. (Mikkilä-Erdmann, 2002, 9-11)

3.3 Fotosynteesi kemian opetussuunnitelmien perusteissa

Fotosynteesi esiintyy useassa eri kohdassa lukion kemian opetussuunnitelmia, kuten kuvasta 5 näkyy. Lukiolaisen tulisi peruskoulun käyneenä tuntea kemialliset fotosynteesin perusteet, sillä se on mainittuna yhtenä keskeisenä sisältönä perusopetuksen opetussuunnitelmien perusteissa (Opetushallitus, 2004). Lukion opetussuunnitelmien mukaan lukiolaisen tulisi osata yhdistää kemia arkipäivän ilmiöihin ja osata käyttää kemiallista tietoa eri yhteyksissä. Lukion kemian kurssien tavoitteina ovat mm. osata ja ymmärtää orgaanisia rakenteita ja tuntea aineen rakenteen ja ominaisuuden yhteyksiä. Opiskelijan tulisi osata kemiallisen reaktion symbolinen ilmaisu ja käsittely. Reaktion käsite opiskelijan tulisi ymmärtää lukion kemian kolmannella kurssilla. Neljännen kurssin yksi tavoite on, että opiskelija tuntee hapettumis-pelkistymisreaktioita. (Opetushallitus, 2003) Nämä kaikki edellä luetellut tavoitteet tulevat esille fotosynteesiä käsitellessä.



KUVA 5. Fotosynteesi lukion kemian opetussuunnitelmissa (Opetushallitus, 2003).

4 Tutkimus

Tässä luvussa esitetään tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset. Tämän lisäksi käsitellään tutkimuksen toteutusta, tutkimusmenetelmää ja kohdejoukkoa. Luvun lopussa käsitellään tutkimuksen luotettavuutta.

4.1 Tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena on kerätä tietoa pääkaupunkiseudun lukiolaisten käsityksistä fotosynteesin kemiasta. Tutkimusta ohjaavia kysymyksiä on kolme, joista ensimmäisessä on yksi alakysymys:

1. Onko pääkaupunkiseudun lukiolaisilla vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesin kemiaan liittyen?
 - 1.1. Minkälaisia nämä käsitykset ovat?
2. Vaikuttaako sukupuoli fotosynteesiin liittyvien vaihtoehtoisten käsitysten esiintymiseen lukiolaisilla?
3. Vaikuttaako käytyjen kemian kurssien määrä fotosynteesiin liittyvien vaihtoehtoisten käsitysten esiintymiseen lukiolaisilla?

Tutkimus on rajattu käsittelemään fotosynteesiä kemian opetuksen kannalta. Hypoteesina tutkijalla kysymyksiin oli, että lukiolaisilla on lukuisia vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesin kemiasta. Näihin käsityksiin vaikuttaa käytyjen kemian kurssien määrä siten, että vaihtoehtoiset käsitykset vähenevät. Sukupuolella ei ole merkitystä vaihtoehtoisiin käsityksiin. Tutkijan asettamat hypoteesit perustuvat seuraaviin tutkimuksiin: Marmaroti ja Galanopoulou, 2006; Lumpe ja Staver, 1995; Amir ja Tamir, 1990; Eisen ja Stavy, 1988; Haslam ja Treagust, 1987 ja Treagust 1986.

4.2 Toteutus

Tutkimus toteutettiin Survey-tutkimuksena. Tutkimukseen oli mahdollista vastata sekä verkossa että paperilomakkeella. Tutkimukseen osallistumispyyntö lähetettiin 27 Helsingin seudun lukion kemian opettajalle. Opettajia pyydettiin mahdollistamaan lukiolaistensa osallistuminen tutkimukseen. Lähetetty pyyntö on liitteenä (LIITE 1). Pyynnössä oli linkki Helsingin yliopiston e-lomakepalveluun, jossa sähköinen tutkimuslomake oli vastattavissa (LIITE 2). Vastausaikaa lomakkeeseen oli 20.4.–31.5.2010. Tänä aikana vastauksia tuli yhteensä 121, joista 68 oli vastattu e-lomakkeeseen. Kolmesta eri lukioista tuli ilmoitus, että he haluavat osallistua tai osallistuivat jo tutkimukseen. Yksi opettaja ilmoitti olevansa hoitovapaalla. Vastauksia on tullut lisäksi näiden koulujen ulkopuolelta. Täten otoksessa on ainakin neljän eri lukion opiskelijoiden vastauksia. Osasta lukioista tuli pyyntö, että lukioden nimiä ei tutkimuksessa mainita. Tästä syystä yhdenkään lukion nimeä ei tutkimuksessa mainita.

Paperisiin lomakkeisiin oli mahdollista vastata joko tutkijan toimittamiin tai opettajan tulostamiin. Haluttu määrä paperisia tutkimuslomakkeita toimitettiin pyynnöstä lukioihin. Paperille vastatut lomakkeet joko noudettiin lukioista tai pyydettiin palauttamaan tutkijan kotiosoitteeseen omalla kustannuksella. Paperilla olleet vastaukset siirrettiin e-lomakepalveluun, josta koko vastausjoukkoa päästiin analysoimaan.

Kysymyslomake oli kaksiosainen, joista ensimmäistä käsitteli fotosynteesin kemian ymmärtämistä ja toinen fotosynteesin merkitystä. Osiota 1 käsitellään tässä tutkimuksessa. Osion 1 kysymyksistä pääosa (9) oli monivalintakysymyksiä, joista osa oli kaksivaiheisia ja osaan vaadittiin myös perustelua. Kysymyksessä kaksi oli neljä väitettä, joihin pyydettiin kemiallista perustelua avoimeen tilaan.

4.3 Kohde

Tutkimuksen kohteena olivat pääkaupunkiseudun lukiolaiset. Kysymyslomakkeen 121 vastaajasta 55 oli miehiä ja 63 naisia, kolme vastauksista oli jätetty tyhjäksi sukupuolen osalta. Katso taulukko 1.

TAULUKKO 1. Sukupuoli.

Sukupuoli	f	% vastauksista
Mies	55	45,5
Nainen	63	52,1
Ei vastausta	3	2,5
Yhteensä	121	100,0

Vastaajien ikä on 15-19 ikävuoden välistä siten, että 17- ja 18-vuotiaiden määrät ovat selkeästi suurimmat. 17- ja 18-vuotiaita on hieman yli 85 prosenttia vastaajista. Yksi vastaaja ei ollut ilmoittanut ikäänsä. Juuri kyseinen vastaaja ei ollut vastannut muihinkaan taustatietokysymyksiin. Vastaajien ikä on taulukoitu alla olevaan taulukkoon (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Ikä.

Ikä	f	% vastauksista
15	1	,8
16	7	5,8
17	67	55,4
18	37	30,6
19	8	6,6
Ei vastausta	1	,8
Yhteensä	121	100,0

Käytyjen kemian kurssien määrää kysyttiin kysymyslomakkeen tausta-osion kysymyksessä kolme. Vastaajat olivat käyneet kursseja jopa seitsemän kappaletta, mutta merkittävä osa vastaajista ei ollut vielä käynyt ensimmäistäkään loppuun. Taulukossa 3 on esitelty tarkat arvot siitä, miten vastaajat olivat käyneet kemian kursseja. Enintään yhden kurssin oli käynyt vastaajista noin 73 prosenttia. Neljä kurssia tai enemmän vastaajista oli käynyt 7,5 prosenttia. Kaksi vastaajista oli jättänyt vastaamatta kysymykseen. Tutkimuksen tuloksissa vastaajat on jaoteltu pääosin seuraaviin kolmeen ryhmään: käytyjä kursseja 0-1 (89 vastaajaa), käytyjä kursseja 2-3 (21 vastaajaa) ja kursseja käyty vähintään neljä (9 vastaajaa). Jako on tehty kuvatun kaltaiseksi, jotta tulosten tarkastelu olisi mahdollista. Osassa kysymysten analysoinneissa otoksen jako on tehty hieman erilailla. Nämä erilaiset jaot ovat käsitelty kyseisten kysymysten kohdalla erikseen. Otos on painottunut lukion kemian ensimmäiselle kurssille.

TAULUKKO 3. Käytyjen lukion kemian kurssien määrä.

Käytyjen kemian kurssien määrä	f	% vastauksista
0	32	26,4
1	57	47,1
2	11	9,1
3	10	8,3
4	3	2,5
5	3	2,5
6	2	1,7
7	1	,8
Ei vastausta	2	1,7
Yhteensä	121	100,0

4.4 Menetelmä

Tutkimusote oli kvantitatiivinen ja tutkimusmenetelmäksi valittiin Survey-tutkimus. Se on kyselyn muoto, jossa tutkittavat henkilöt ovat osa tietystä perusjoukosta ja aineisto on kerätty standardoidusti. Tämä standardoituus tarkoittaa sitä, että kaikki kysymykset ovat esitetty kaikille vastaajille samalla tavalla jäsenneltä lomaketta käyttäen. (Hirsjärvi et al. 2005, 182-184; Holopainen ja Pulkkinen 2003, 19)

Survey-tutkimuksella on paljon hyviä puolia. Sillä voidaan yleensä saada laaja tutkimusaineisto. Samalla tutkimuksella voidaan kysyä useita eri asioita suurelta määrältä vastaajia. Kysely on tehokas ja tutkijalle suhteellisen vaivaton. Lomakkeen huolellinen suunnittelu helpottaa ja nopeuttaa tutkimuksen tekoa. Kyselytutkimuksia on tehty paljon ja vastausten analysointiin on olemassa valmiita analyysitapoja. (Hirsjärvi et al. 2005, 183-184)

Survey-tutkimuksella on myös heikkouksia. Usein Survey-tutkimuksella hankittu aineisto on pinnallista ja tutkimuksia pidetään teoreettisesti vaatimattomina. Tutkimuksessa jää epäselväksi kuinka vakavasti vastaajat ovat suhtautuneet kysymyksiin, miten onnistuneita kysymykset ovat ja miten annetut vastausvaihtoehdot vastaavat tutkittavien käsityksiä aiheesta. Lisäksi ongelmaksi tulee usein se, kuinka hyvin vastaajat ovat perehtyneet tutkittavaan asiaan. Toisinaan vastaamattomuus eli kato nousee suureksi. (Hirsjärvi et al. 2005, 184)

Tutkimuslomakkeessa oli sekä kvalitatiivinen että kvantitatiivisia kysymyksiä. Yhteensä tässä tutkimuksessa analysoituja kysymyksiä lomakkeessa oli 10, joista yhdeksän oli kvantitatiivisia suljettuja tai osittain avoimia monivalintakysymyksiä. Näistä monivalintakysymyksistä yhteen vaadittiin perustelua avoimeen tilaan varsinaisen suljetun kysymyksen jälkeen. Kaksi monivalintakysymyksistä oli kaksivaiheisia, osittain avoimia monivalintakysymyksiä. Näiden kahden kysymyksen jälkimmäisissä vaiheissa oli mahdollisuus antaa vastaus avoimeen tilaan ehdotettujen vastausvaihtoehtojen sijaan. Kvalitatiivisia kysymyksiä tutkimuslomakkeessa oli yksi, jossa oli neljä alakohtaa. Tässä kysymyksessä tuli antaa kemiallisia perusteluita esitetyille väitteille avoimeen tilaan. Nämä vastaukset ryhmiteltiin luokiksi ja analysoitiin kvantitatiivisesti.

Tutkimuksessa saatu aineisto siirrettiin e-lomakkeesta PASW Statistics 18 -ohjelmaan, jossa laskettiin kaikki tarvittavat laskut ja luotiin grafiikat. Avoimet kysymykset litteroitiin (LIITE 4) ja taulukoitiin mahdollisimman selkeisiin ryhmiin. Jokaisen kysymyksen vastauksille laskettiin sukupuolen ja käytyjen kemian kurssien määrän vaikutus khiin neliön riippumattomuustestiin, mikäli lasku oli mahdollista laskea. Testin edellytyksenä on, että korkeintaan 20 % nollahypoteesin mukaisen jakauman lukumääristä on pienempiä kuin 5. Tämä osoittautui ongelmaksi analysoitaessa käytyjen kemian kurssien määrän vaikutusta vastauksiin. Tätä ongelmaa on käsitelty enemmän seuraavassa osiossa.

4.5 Luotettavuus

Tutkimuksen teossa pyritään arvioimaan aina tutkimuksen luotettavuutta eli reliaabeliutta ja pätevyyttä eli validiutta (Hirsjärvi et al., 2005, 216). Tutkimuksen sisäinen validiteetti on hyvä, sillä kysytyt kysymykset vastasivat tutkimuskysymyksiä.

Vastaajien määrä tutkimuksessa oli suuri. Laskuvirheet minimoitiin käyttämällä tilasto-ohjelmaa vastausten analysoinnissa. Tutkija on pyrkinyt työskentelemään järjestelmällisesti ja huolellisesti. Tehdyt luokittelut on tarkastettu kahteen kertaan koko aineistolle. Khiin neliö -testin käyttö mahdollistaa tulosten tulkinnan luotettavuuden. Joskaan khiin neliö -testiä ei pystytty laskemaan kaikille tuloksille etsittäessä vastausta kolmanteen tutkimuskysymykseen eli siihen miten käytyjen kemian kurssien määrä vaikutti vastauksiin. Vastaajista oli 73 % (89 vastaajaa) käynyt enintään yhden kemian kurssin. Sattuman vuoksi otanta oli vino käytyjen kemian kurssien suhteen.

Opettajat, jotka olivat suostuvaisia teettämään tutkimuksen opiskelijoillaan, olivat sattumalta opettamassa kyseisessä jaksossa suurta joukkoa kemian 1. kurssilaisia. Mahdollinen syy tähän on, että kyseinen kurssi on ainoa pakollinen kemian kurssi ja siten sen kävijöitä on huomattavasti enemmän kuin esimerkiksi syventävillä kursseilla. Täten analysoinnit kolmanteen tutkimuskysymykseen ovat vain suuntaa-antavia.

Otanta oli muuten hyvin edustava tutkittaessa pääkaupunkiseudun lukiolaisten vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesistä ja sukupuolten vaikutusta tähän.

Kyselylomakkeessa on käytetty sekä avoimia että suljettuja kysymyksiä. Useissa suljetuissa monivalintakysymyksissä oli vaihtoehto, jossa pystyi kirjoittamaan myös oman vaihtoehdon kysymykseen. Kyselyyn vastaaminen nimettömänä lisää vastausten luotettavuutta, koska vastaajaa ei voida tunnistaa ja siten vastaajat vastasivat vapautuneemmin. Tämä lisäsi joidenkin vastaajien kohdalla välinpitämättömyyttä kyselyä kohtaan.

Luotettavuutta lisää tutkimuksen vertailu aiemmin tutkittuun. Kaikkia tutkimuslomakkeiden kysymyksiä on käytetty aiemmin joko tutkittaessa fotosynteesin vaihtoehtoisia käsityksiä tai Suomen ylioppilaskirjoituksissa. Tämä mahdollistaa suuntaa-antavan vertailun tämän ja aiempien tutkimusten välillä.

Griffard ja Wandersee (2001) tutkivat kaksikerroksisen monivalintakysymyslomakkeen luotettavuutta. Kyseisestä kysymyslomakkeesta tässä tutkimuksessa on käytetty kahta kysymystä (kysymykset 9 ja 10). Griffardin ja Wanderseen (2001) mukaan kaksikerroksinen tutkimuslomake on liian sitova ja tutkittavat voivat mahdollisesti pitää kysymyksen a- ja b- kohtia erillisinä kysymyksinä. Heidän mukaansa kyseistä kysymyslomaketta ei tulisi suoraan käyttää tutkimukseen. Tämän vuoksi tutkimuksessa käytetyissä kysymyksissä on erityyppisiä kysymyksiä.

Tutkimuslomaketta ei testattu etukäteen ja siten siihen jäi joitakin puutteita. Survey-tutkimuksessa on olennaista se, miten hyvin kyselylomakkeen kysymykset onnistutaan laatimaan. Kysymyslomakkeen kysymyksissä 5 ja 9 olisi tullut käyttää systemaattisesti termiä soluhengitys, jotta vastaajille olisi selkeämpää vastata kysymyksiin. Paperisiin lomakkeisiin vastatut avointen kysymysten vastaukset olivat usein pidempiä kuin varattuun vastaustilaan oli mahdollista kirjoittaa. Tämän vuoksi osa vastauksista oli usein ahdettu sivun marginaaleihin. Tämä saattoi vaikuttaa siihen, ettei vastauksiin kirjoitettu kaikkea, mikä oli vastaajalla mielessä. Tutkimustuloksiin saattoi vaikuttaa tutkijan päätös käyttää tutkimuksessa termiä fotosynteesi, vaikka termi yhteyttäminen olisi ollut vastaajille mahdollisesti tutumpi.

E-lomakkeen kautta vastaamisessa ilmeni myös joitakin ongelmia. Vastaajien oli vaikeata kirjoittaa kemiallisia reaktioyhtälöitä perustellessaan väitteitä kysymyslomakkeen toisessa kysymyksessä. Tämän vuoksi oikeaksi perusteluksi on hyväksytty myös reaktioyhtälön sanallinen kuvailu. Osa vastaajista ilmoitti, etteivät nähneet kuvaa 1. kysymyksessä. Tutkijalle ei ole selvinnyt, mikä tähän oli syynä. Mahdollisesti vastaajat käyttivät Internet-selainta, joka ei tukenut E-lomakkeen kuvien näyttämistä.

5 Tulokset

Tässä luvussa esitellään tutkimustulokset tutkimuskysymysten mukaisessa järjestyksessä. Samalla kuvaillaan kysytyt kysymykset, niihin oikeat vastaukset ja oikeiden vastausten määrä.

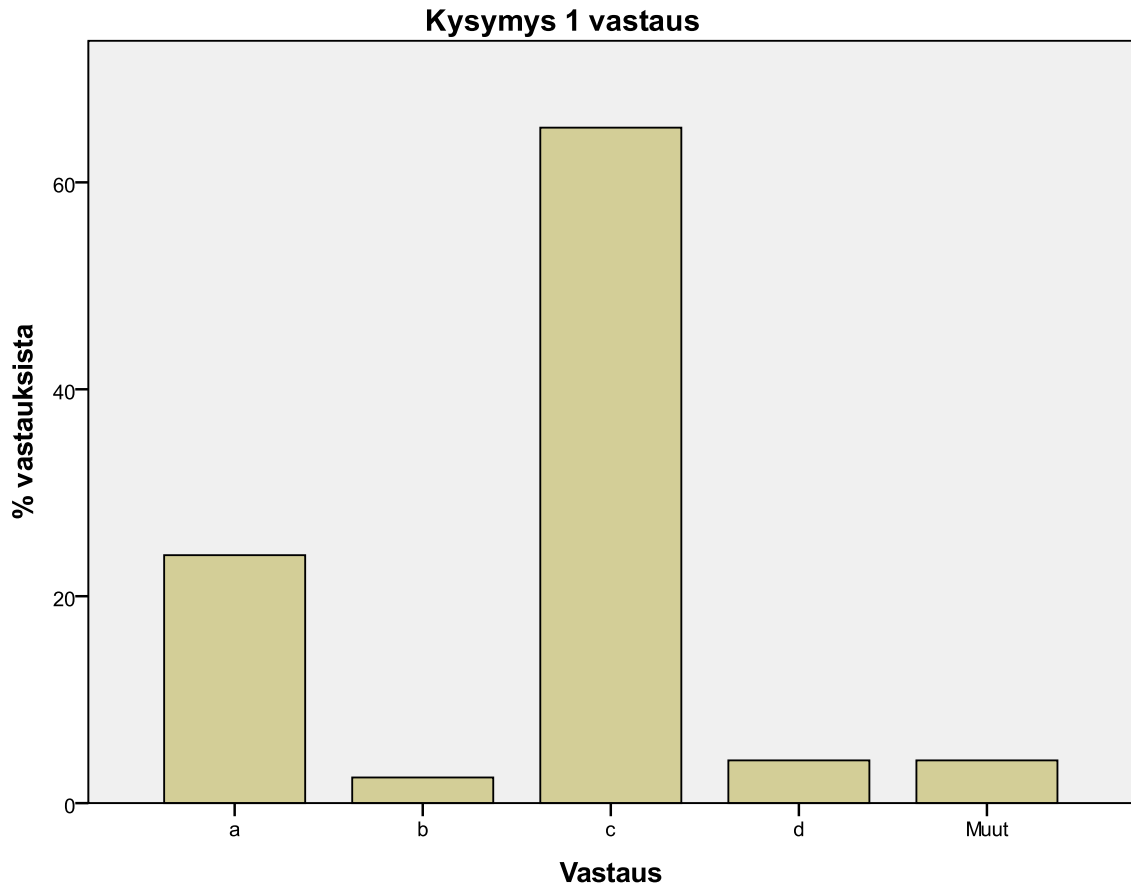
5.1 Fotosynteesin ymmärtäminen

5.1.1 Kaasujen kierto fotosynteesissä

Fotosynteesin ymmärtämisessä on tärkeää hahmottaa aineiden kiertoa ja energian kulkua prosessin läpi. Kysymyslomakkeen ensimmäinen kysymys käsitteli hapen ja hiilen kiertoa fotosynteesiprosessissa kaavioiden avulla. Kysymys oli kaksiosainen: Ensimmäisessä osassa vastaajan tuli valita oikea vaihtoehto neljästä eri kaaviokuvasta, jotka kuvasivat hiilen ja hapen kiertoa luonnossa. Kysymyksen toisessa osassa vastaajan tuli perustella ensimmäisen kohdan vastaus. Amir ja Tamir (1990) ovat käyttäneet aiemmin kysymystä tutkimuksessaan.

Vastaukset ovat luokiteltu ensimmäisessä osassa neljän eri vastausvaihtoehdon mukaisesti lisättynä osiolla muut. Muut osiossa ovat vastaukset, joissa oli vastattu kaksi vaihtoehtoa samaan tai mainittu etteivät vastaajat nähneet kuvaa (kolme vastaajaa).

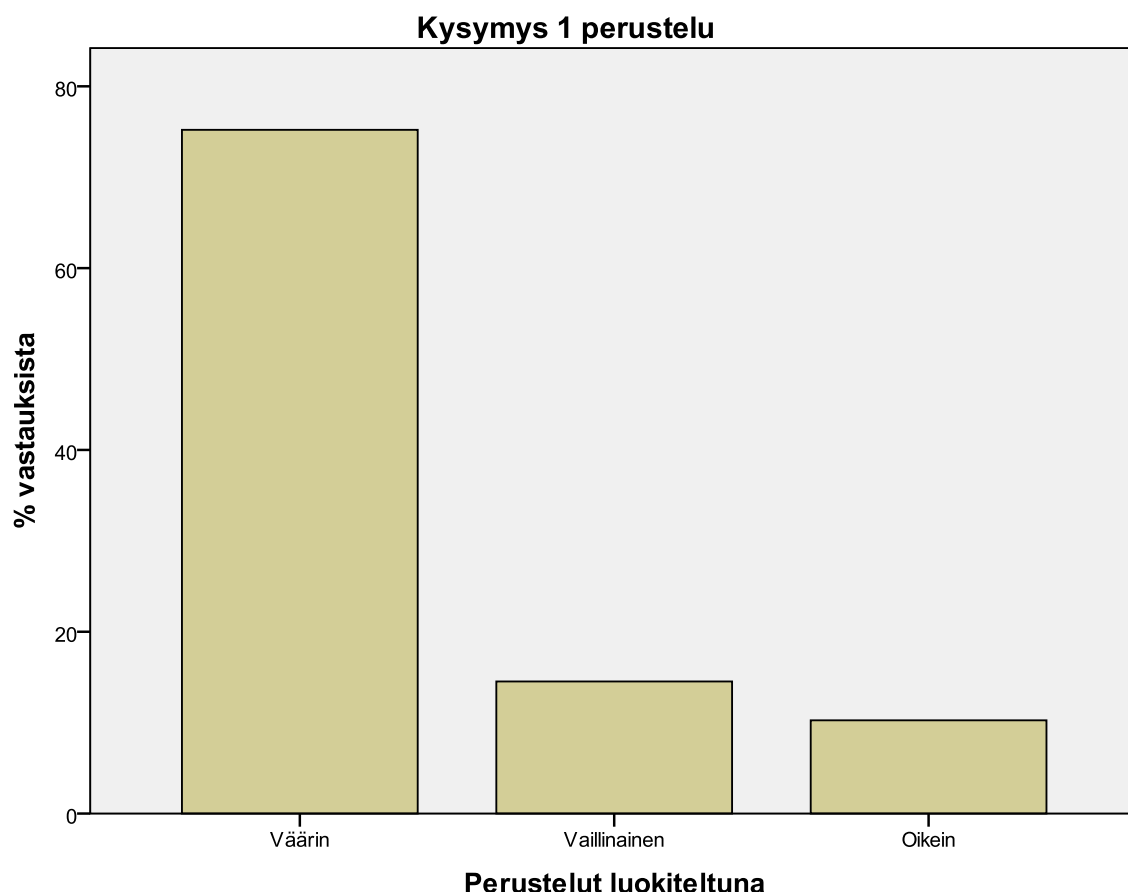
Kysymyksen ensimmäisessä osassa kaksi vaihtoehtoa (b ja d) ovat täysin ja selkeästi väärin. Nämä ovat mittaamassa sitä, ettei kysymykseen vastata sattumanvaraisesti. Kysymykseen vastaajista 24 prosenttia vastasivat a- kohdan (oikea vastaus), 65 prosenttia c-kohdan ja loput noin 10 prosenttia vastasivat muuten. Tämä on esiteltynä kuviossa 1.



KUVIO 1. Kysymys 1 vastausten prosenttiosuudet.

Oikein vastanneista riittävän perustelun pystyi antamaan 12 vastaajaa. 17 oikein vastanneen perusteluissa oli ongelmia. Tämä on esiteltynä kuviossa 2. Vastaukset ja perustelut ovat luokiteltu kolmeen osaan: oikeat vastaukset, vaillinaiset vastaukset ja väärät vastaukset. Oikeissa perusteluissa tuli käydä ilmi kaasujen kierron lisäksi että kasvit sekä hengittävät että fotosyntetisoivat. Vaillinaisissa vastauksissa oli annettu oikea selitys kaasujen kierrolle (valittu oikea vaihtoehto kysymyksen ensimmäisessä osassa), mutta ei ollut ymmärretty miksi kasvit tarvitsevat happea. Väärin vastanneet eivät olleet ymmärtäneet kasvien hengittävän eikä ymmärretty kaasujen kiertoa oikein.

Kaasujen kiertoon liittyvä keskeisin vaihtoehtoinen käsitys, vastaajat eivät ymmärtäneet kasvien tarvitsevan myös happea hiilidioksidin lisäksi, esiintyi 89,6 % vastaajista. Ainoastaan 10,4 % pystyi valitsemaan oikean vaihtoehdon kysymyslomakkeen ensimmäisessä kysymyksessä ja perustelemaan vastauksessa riittävän selkeästi.



KUVIO 2. Vastaajien perustelut luokiteltuna kysymyksestä 1.

Tutkimuslomakkeen toisessa kysymyksessä pyydettiin antamaan kemiallinen perustelu neljälle eri väitteelle, jotka käsittelivät hiilidioksidi ja sen vaikutusta luonnossa. Oikea vastaus edellytti hyvää ymmärrystä kaasujen kemiasta. Tehtävä on peräisin vuoden 2003 syksyn ylioppilaskirjoituksista (Saarinen, 2005). Tehtävä luokiteltiin seitsemään luokkaan. Ensimmäisessä luokassa ovat vastaukset, jotka olisivat saaneet $x \leq 0,5$ pistettä kyseisen vuoden ylioppilaskirjoituksissa. Luokassa kaksi ne, jotka olisivat saaneet $0,5 \leq x < 1,5$, luokassa kolme $1,5 \leq x < 2,5$, luokassa neljä $2,5 \leq x < 3,5$, luokassa viisi $3,5 \leq x < 4,5$, luokassa kuusi $4,5 \leq x < 5,5$ ja luokassa seitsemän $5,5 \leq x$. Vastauksia analysoitaessa on nostettu esiin toistuvat vaihtoehtoiset käsitykset.

Ensimmäinen väite oli, että "fossiilisten polttoaineiden käyttö lisää ilman hiilidioksidipitoisuutta". Tästä väitteestä pystyi saamaan – pistettä. Saarisen (2005) mukaan täydellinen vastaus edellyttää tietoa, että fossiilisissa polttoaineissa on hiiltä ja reaktioyhtälöä, jossa ilmenee hapen liittyminen hiileen muodostaen hiilidioksidia. Vastauksesta on annettu – pistettä, jos mainittu fossiilisten polttoaineiden sisältävän hiiltä. Jos reaktioyhtälö ilmaistu (sanallisesti tai symbolisesti), on annettu – pistettä. Jos vastauksessa on maininta, että fossiilisissa polttoaineissa on hiiltä ja sen palaessa syntyy hiilidioksidia, niin vastaus on riittävä. Termi palaminen riittää korvaamaan maininnan hapest. Viidellä vastaajista oli vaihtoehtoinen käsitys siitä, että fossiiliset polttoaineet sisältävät hiilidioksidia, joka vapautuu poltettaessa.

Toinen väite oli, että "sadeveden happamuus johtuu hiilidioksidista". Myös tästä perustelusta on annettu – pistettä. Saarisen (2005) mukaan vastauksessa tulee ilmetä veden ja hiilidioksidin reaktio, jossa muodostuu hiilihappoa. Tästä maininnasta on annettu – pistettä. Hiilihapon ja veden reaktiossa muodostuvan oksoniumionin maininta ja sen vaikutus pH-arvoon antaa myös – pistettä. Perustelu kiehumispisteen avulla ei ollut riittävä. Toistuvia selkeitä vaihtoehtoisia käsityksiä ei vastaajilla esiintynyt. Kysymys oli vaikea, ja siihen vastattiin hyvin ympäripyöreästi.

Kolmas väite oli, että "vihreät kasvit vähentävät ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta". Vastauksesta on annettu enintään – pistettä. Jos mainittu asian johtuvan fotosynteesistä, on annettu – pistettä. Jos esitetty fotosynteesin reaktioyhtälö, on annettu – pistettä. Sanallinen ilmaisu oli riittävä. Osasta vastauksista nousi esiin vaihtoehtoinen käsitys siitä, että kasvit hengittävät hiilidioksidia tai käyttävät hiilidioksidia polttoaineenaan.

Neljäs väite oli, että "hiilidioksidi on normaaliolosuhteissa kaasu". Tästä vastauksesta pystyi saamaan kaksi pistettä. Vastauksessa tulee olla maininta molekyylin pienestä koosta (1 piste) ja lineaarisesta rakenteesta tai rakenteesta johtuvasta poolittomuudesta (1 piste). Myös tämä kysymys koettiin hankalaksi ja useimmat perustelivat väitteen kiehumispisteen avulla.

Alla on taulukoitu yhteispisteet koko kysymyksestä taulukossa 4. Väitteistä saatujen pisteiden keskiarvot olivat: 1. väite 0,44 pistettä, 2. väite 0,02 pistettä, 3. väite 0,37 pistettä ja 4. väite 0,02 pistettä. Vain 2,5 % vastaajista sai vähintään kolme pistettä. Parhaimmat pisteet olivat kokonaisuudessaan neljän pistettä. Kolmasosa vastaajista ei saanut perusteluillaan yhtään pistettä. Puolet vastaajista jäi yhteen kokonaispisteeseen. Luokkiin kuusi ja seitsemän ei tullut vastauksia.

TAULUKKO 4. Kysymyksen 2 pisteytys.

Pisteluokat	Pisteet	f	% vastaajista
1	$x \leq 0,5$	41	33,9
2	$0,5 \leq x < 1,5$	58	47,9
3	$1,5 \leq x < 2,5$	19	15,7
4	$2,5 \leq x < 3,5$	1	,8
5	$3,5 \leq x < 4,5$	2	1,7
Yhteensä		121	100,0

5.1.2 Fotosynteesin reaktioyhtälön muodostus

Kolmannessa ja neljännessä kysymyksessä mitattiin minkälaisia vaihtoehtoisia käsityksiä liittyy fotosynteesin reaktioyhtälön muodostamiseen. Kysymyksessä kolme pyydettiin valitsemaan neljästä vaihtoehdosta fotosynteesiin vaadittavat lähtöaineet. Kysymyksessä neljä pyydettiin valitsemaan vastaavasti fotosynteesin tuotteet. Taulukossa 5 esitetään annetut vastaukset taulukoituna. Lähes kolme neljästä (73,3 %) vastaajasta osasi vastata sekä kolmanteen että neljäljnteen kysymykseen oikein. Osalla vastaajista (n. 7 %) päätyi happi molemmille puolelle reaktioyhtälöä. Marmaroti ja Galanopoulou (2006) ovat käyttäneet vastaavaa kysymystä omassa tutkimuksessaan.

TAULUKKO 5. Ristiintaulukointi kysymysten 3 ja 4 vastauksista.

			Tuotteet				Yhteensä		
			Sokerit ja happi	Hiilidiok- sidi ja sokerit	Happi ja vesi	Vesi ja hiilidiok- sidi			
Lähtöaineet	Vettä ja	f	88	1	2	2	93		
	hiilidioksidia	% vastauksista	73,3%	,8%	1,7%	1,7%	77,5%		
	Happea ja vettä	f	8	4	2	1	15		
		% vastauksista	6,7%	3,3%	1,7%	,8%	12,5%		
	Happea ja	f	4	1	1	0	6		
	sokereita	% vastauksista	3,3%	,8%	,8%	,0%	5,0%		
	Hiilidioksidia ja	f	2	1	1	2	6		
	happea	% vastauksista	1,7%	,8%	,8%	1,7%	5,0%		
Yhteensä			f	102	7	6	5	120	
				% vastauksista	85,0%	5,8%	5,0%	4,2%	100,0%

5.1.3 Fotosynteesi ja soluhengitys

Kaksi kysymyksistä käsitteli fotosynteesin ja soluhengityksen suhdetta kasveilla. Viides kysymys oli näistä toinen. Siinä pyydettiin valitsemaan oikea väite neljästä eri vaihtoehdosta. Näistä vain yksi oli oikein. Kysymys perustuu Marmaroti ja Galanopoulou (2006) tutkimukseen. Taulukossa 6 on esitetty vastausvaihtoehdot ja annetut vastaukset. 41 prosenttia vastaajista oli vastannut valitsemalla kohdan ii), mikä oli oikea vastaus. 41 prosentin mielestä fotosynteesi on kasvien hengitystä. 17 % mielestä kasvi fotosyntetisoi silloin, kun soluhengitystä ei tapahdu. Tästä kysymyksestä on tulokset graafisessa muodossa taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Kysymys 5 vastaukset.

Väite	f	% vastaajista
i) Fotosynteesi on kasvien hengitystä.	50	41,3
ii) Fotosynteesi ja soluhengitys tapahtuvat kasveissa samaan aikaan.	50	41,3
iii) Kasvi fotosyntetisoi silloin, kun soluhengitystä ei tapahdu.	17	14,0
iv) Kasvien soluissa ei tapahdu soluhengitystä.	3	2,5
Ei vastausta.	1	0,8
Yhteensä	121	100,0

Toinen soluhengityksen ja fotosynteesin välistä suhdetta käsittelevä kysymys oli 10. kysymys. Se oli kaksiosainen kysymys, jossa ensimmäisessä osassa tuli valita kahdesta vaihtoehdosta ja toisessa perustella vastauksensa valitsemalla neljästä valmiista vastauksesta yksi tai antaa oma vastaus tyhjään tilaan. Muissa tutkimuksissa vastaavaa kysymystä on käytetty aikaisemmin, esimerkiksi Haslam ja Treagust (1987). Kysymyksen ensimmäisessä osassa tuli vastata kysymykseen: "Mitä kaasua kasvit ottavat sisäänsä, kun auringon energiaa ei ole saatavilla?". Vastaajista 45 (38,5 %) osasi valita kysymyksen a-kohdassa oikein, kun väärin vastasi 72 (61,5 %) vastaajaa. Näistä 72 vastaajasta 16 vastasi, että hiilidioksidia käytetään kasveissa koko ajan tapahtuvassa fotosynteesissä. Oikeat vastaukset kysymyksen molempiin kohtiin oli 15 % vastaajista (17 vastaajaa). Vastaukset ovat taulukoituna taulukossa 7. Näistä vastauksista nousee esiin vaihtoehtoiset käsitykset siitä, että fotosynteesi on kasvien hengitystä ja ymmärretään kasvien kaasujenvaihto väärin. Osa vastaajista ei selvästikään ymmärtänyt auringon roolia fotosynteesissä valitsemalla ensin kohdan i) hiilidioksidia ja tämän jälkeen mainitsi kyseistä kaasua käytettävän koko ajan tapahtuvassa fotosynteesissä (30,8 %).

TAULUKKO 7. Vastaukset kysymykseen 10.

10a. Mitä kaasua kasvit ottavat sisäänsä, kun auringon energiaa ei ole saatavilla?

i) Hiilidioksidia

ii) Happea

10b. Vastasin 10.a. kohtaan näin, koska

i) Tätä kaasua käytetään kasveissa koko ajan tapahtuvassa fotosynteesissä.

ii) Tätä kaasua käytetään fotosynteesissä, jota tapahtuu vain kun auringon energiaa ei ole saatavilla.

iii) Tätä kaasua käytetään soluhengityksessä, jota tapahtuu vain kun auringon energiaa ei ole saatavilla fotosynteesiä varten.

iv) Tätä kaasua käytetään kasveissa koko ajan tapahtuvassa soluhengityksessä.

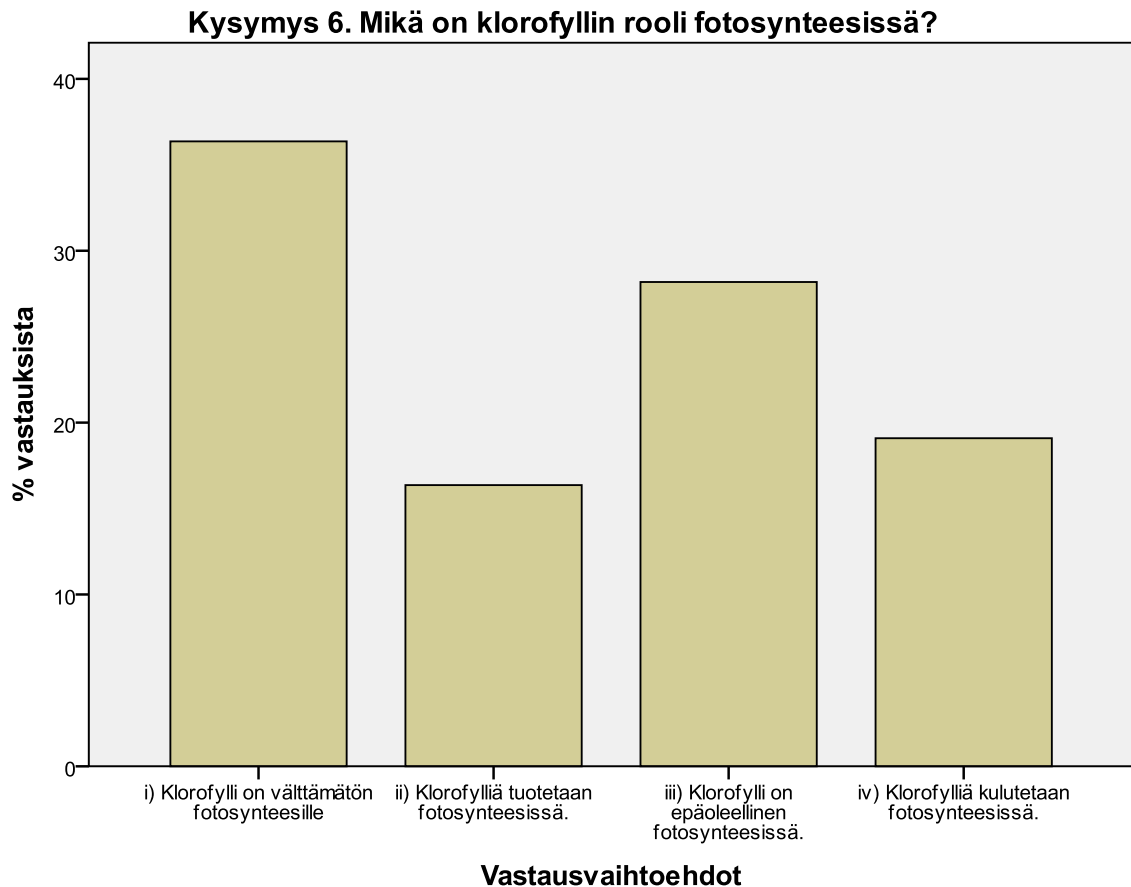
v) Oma vastaus.

		10b.					Yhteensä
		i)	ii)	iii)	iv)	v)	
10a.	i) f	36	6	4	16	10	72
	% vastauksista	30,8%	5,1%	3,4%	13,7%	8,5%	61,5%
	ii) f	6	5	16	17	1	45
	% vastauksista	5,1%	4,3%	13,7%	14,5%	0,9%	38,5%
Yhteen-	f	42	11	20	33	11	117
sä	% vastauksista	35,9%	9,4%	17,1%	28,2%	9,4%	100,0%

Verratessa 10a-kohdan valintaa ensimmäisen kysymyksen vastauksiin saadaan selville, että 53,9 % vastaajista (62 vastaajaa) sekä vastasi täysin väärin ensimmäiseen kysymykseen, että valitsi kymmenennessä kysymyksessä kasvien ottavan hiilidioksidia sisäänsä, kun auringon energiaa ei ole saatavilla. Näillä vastaajilla on vaihtoehtoinen käsitys kasvien kaasujen vaihdosta.

5.1.4 Klorofyllin merkitys fotosynteesissä

Kysymyksessä kuusi tarkasteltiin vastaajien tietoa siitä mitä termillä klorofylli tarkoitetaan ja mikä on klorofyllin funktio fotosynteesissä. Alla on kuviossa 3 esitetty kysymykseen annetut vastaukset. 36 % vastaajista vastasi kysymykseen oikein. 28 % vastaajista ilmoitti klorofyllin olevan epäoleellinen fotosynteesissä. Kysymyksessä mitattiin myös sitä, kuinka suuri osa vastaajista yhdistää klorofyllin joko fotosynteesin tuotteeksi tai lähtöaineeksi. Vastaajista 36 % käsitti klorofyllin joko fotosynteesin lähtöaineeksi tai tuotteeksi. Kysymys on peräisin Marmarotin ja Galanopouloun (2006) tutkimuksesta. Verrattaessa tulosta kysymysten kolme ja neljä oikein vastanneisiin, niin heistä 27,5 % sijoitti klorofyllin fotosynteesin tuotteeksi tai lähtöaineeksi.



KUVIO 3. 6. kysymyksen vastaukset.

5.1.5 Energia ja valon rooli fotosynteesissä

Kysymykset seitsemän ja kahdeksan käsittelivät valon roolia fotosynteesissä. Nämä kysymykset ovat olleet käytössä Marmarotin ja Galanopouloun (2006) tutkimuksessa. Molemmissa kysymyksissä oli kolme vastausvaihtoehtoa. Tulokset ristiintaulukoituna taulukossa 8. 68 % vastaajista vastasi molempiin kysymyksiin oikein; fotosynteesiä tapahtuu päivällä ja valosta kasvit saavat energiaa fotosynteesiä varten. 23,1 % vastaajista mielsi fotosynteesiä tapahtuvan koko ajan.

TAULUKKO 8. Kysymysten 7 ja 8 ristiintaulukoinnin tulokset.

			8. Mikä on valon rooli fotosynteesissä?			Yhteensä
			i) kasvit saavat energiaa fotosynteesiä varten.	ii) kasvien lämmittä-miseksi.	iii) ravinteiden lähteeksi	
7. Milloin fotosynteesiä tapahtuu?	i) päivällä	f	1	1	0	2
		% vastauksista	,8%	,8%	,0%	1,7%
	ii) kun valoa	f	82	3	6	91
	saatavilla	% vastauksista	67,8%	2,5%	5,0%	75,2%
	iii) koko ajan	f	23	1	4	28
		% vastauksista	19,0%	,8%	3,3%	23,1%
Yhteensä		f	106	5	10	121
		% vastauksista	87,6%	4,1%	8,3%	100,0%

Solujen energiantarve oli kysymyslomakkeen 9 kysymyksen aihe. Kysymys koostui kahdesta osasta. Kysymyksen a-osassa vastaajan tuli valita kolmesta vaihtoehdosta jatko lauseeseen "Kasveilla soluhengitystä tapahtuu" ja perustella valintansa toisessa osassa. Kysymys on lähteestä Haslam ja Treagust (1987). Taulukosta 9 on nähtävissä kysymyksen yhdeksän vastauksista saadut tulokset. Kolmannes vastaajista (33,6 %) vastasi kysymykseen oikein molemmissa kohdissa eli kasveilla soluhengitystä tapahtuu kaikissa kasvin soluissa (9a, kohta ii), koska kaikki elävät solut tarvitsevat energiaa (9b, kohta i). Yleisin valinta (36,1 %) oli, että kasveilla soluhengitystä tapahtuu vain lehtien soluissa, koska vain lehdissä on erityiset raot kaasujen vaihtoon. Tästä nousee esiin vaihtoehtoinen käsitys siitä, että fotosynteesi on kasvien hengitystä ja siten se olisi sidottu lehtiin.

TAULUKKO 9. Ristiintaulukoituna 9. kysymyksen osakysymykset.

9a. Kasveilla soluhengitystä tapahtuu

- i) Vain juuren soluissa.
- ii) Kaikissa kasvin soluissa.
- iii) Vain lehtien soluissa.

9b. Vastasin 9.a-kohtaan näin, koska

- i) Kaikki elävät solut tarvitsevat energiaa.
- ii) Vain lehdistä on erityiset raot kaasujen vaihtoon.
- iii) Vain juurissa on rakoja hengitystä varten
- iv) Vain juuret tarvitsevat energiaa, jotta voivat hankkia vettä.
- v) Oma vastaus.

	9b.					Yhteensä
	i)	ii)	iii)	iv)	v)	
9a. i). f	2	1	2	1	3	9
% vastauksista	1,7%	,8%	1,7%	,8%	2,5%	7,6%
ii) f	40	3	2	0	2	47
% vastauksista	33,6%	2,5%	1,7%	,0%	1,7%	39,5%
iii) f	4	43	0	1	15	63
% vastauksista	3,4%	36,1%	,0%	,8%	12,6%	52,9%
Yhteensä f	46	47	4	2	20	119
% vastauksista	38,7%	39,5%	3,4%	1,7%	16,8%	100,0%

5.2 Sukupuolen vaikutus vastauksiin

Tutkimuskysymys kaksi käsittelee sukupuolen vaikutusta fotosynteesiin liittyvien vaihtoehtoisten käsitysten esiintymiseen lukiolaisilla. Kyselylomakkeen ensimmäisen kysymyksen vastauksen ja perustelun oikeellisuutta suhteessa vastaajan sukupuoleen on tarkasteltu alla olevassa taulukossa 10. Sekä miehistä että naisista väärin vastasi kolme neljästä vastaajasta. Oikein vastasi miehistä 8 % ja naisista 13 %. Khiin neliö -testin p-arvo oli 0,662 eli sukupuolen ja vastauksen välillä ei ole riippuvuutta ($0,662 > 0,05$).

TAULUKKO 10. Sukupuolen vaikutus ensimmäisen kysymyksen vastausten perusteluun.

			Sukupuoli		Yhteensä
			Mies	Nainen	
Perustelu	Väärin	f	39	47	86
		% vastaajista	76,5%	74,6%	75,4%
	Vaillinainen	f	8	8	16
		% vastaajista	15,7%	12,7%	14,0%
	Oikein	f	4	8	12
		% vastaajista	7,8%	12,7%	10,5%
Yhteensä			51	63	114
			100,0%	100,0%	100,0%

Kyselylomakkeen toisen kysymyksen vastauksen ja vastaajan sukupuolen suhde on esiteltyinä taulukossa 11. Sekä miesten että naisten vastauksissa oli suunnilleen yhtä paljon eriasteisia vastauksia. Khiin neliö -testi laskettiin taulukolle 11, siten, että suurin pisteluokka oli 2 pistettä tai enemmän. Näin Khiin neliö -testin p-arvo oli 0,493 eli sukupuolen ja vastauksen välillä ei ole riippuvuutta ($0,493 > 0,05$).

TAULUKKO 11. Kysymyksen 2 pisteytys sukupuolen mukaan.

			Sukupuoli		Yhteensä
			Mies	Nainen	
Pisteet	0	f	19	21	40
		% vastaajista	47,5%	52,5%	100,0%
	1	f	24	33	57
		% vastaajista	42,1%	57,9%	100,0%
	2	f	11	7	18
		% vastaajista	61,1%	38,9%	100,0%
	3	f	0	1	1
		% vastaajista	,0%	100,0%	100,0%
	4	f	1	1	2
		% vastaajista	50,0%	50,0%	100,0%
Yhteensä			55	63	118
			46,6%	53,4%	100,0%

Kysymyksissä 3 ja 4 käsiteltiin fotosynteesin reaktioyhtälön muodostamista. Taulukossa 12 on jaoteltu oikeat ja väärät vastaukset molempiin kysymyksiin sukupuolen mukaan. Miehistä oikein vastasi neljä viidestä vastaajasta ja naisista kaksi kolmesta vastaajasta. Oikeiden vastausten riippuvuudelle sukupuolesta laskettu Khiin neliö -testin p-arvo oli 0,104 eli sukupuolen ja oikean vastauksen välillä ei ole riippuvuutta ($0,104 > 0,05$).

TAULUKKO 12. Kysymysten kolme ja neljä oikeat vastaukset jaoteltu vastaajan sukupuolen mukaan.

			Sukupuoli		Yhteensä
			Mies	Nainen	
Kysymykset 3 ja 4	Väärin	f	11	21	32
	% vastauksista		20%	33%	27,1%
	Oikein	f	44	42	86
	% vastauksista		80%	67%	72,9%
Yhteensä		f	55	63	118
		% vastauksista	100%	100%	100,0%

Kysymyksissä 5 ja 10 käsiteltiin fotosynteesin ja soluhengityksen suhdetta. Viidennen kysymyksen vastaajista naisista 40 % ja miehistä 43 % mielestä fotosynteesi on kasvien hengitystä. Kohdan ii) (fotosynteesi ja soluhengitys tapahtuvat kasveissa samaan aikaan) valitsi miehistä 39 % ja naisista 46 %. Sukupuolten vaikutuksen vastauksiin on nähtävissä taulukossa 13. Khiin neliö -testin p-arvo oli 0,799 eli sukupuolen ja vastauksen välillä ei ole riippuvuutta ($0,799 > 0,05$).

TAULUKKO 13. Kysymys 5, vastaukset sukupuolten mukaan jaoteltuna.

5. Valitse oikea väite seuraavista:

- i) Fotosynteesi on kasvien hengitystä.
- ii) Fotosynteesi ja soluhengitys tapahtuvat kasveissa samaan aikaan.
- iii) Kasvi fotosyntetisoi silloin, kun soluhengitystä ei tapahdu.
- iv) Kasvien soluissa ei tapahdu soluhengitystä.

			Sukupuoli		Yhteensä
			Mies	Nainen	
Vastausvaihtoehdot	i)	f	23	25	48
		% vastauksista	42,6%	39,7%	41,0%
	ii)	f	21	29	50
		% vastauksista	38,9%	46,0%	42,7%
	iii)	f	8	8	16
		% vastauksista	14,8%	12,7%	13,7%
	iv)	f	2	1	3
		% vastauksista	3,7%	1,6%	2,6%
Yhteensä			54	63	117
			100,0%	100,0%	100,0%

Kymmenennen kysymyksen vastaajista miehistä 47 % ja naisista 53 % vastasivat ja perustelivat oikein. Oikean vastauksen riippuvuudelle sukupuolesta lasketun Khiin neliö -testin p-arvo oli 0,964 eli sukupuolen ja oikean vastauksen välillä ei ole riippuvuutta ($0,964 > 0,05$).

Kuudennessa kysymyksessä käsiteltiin klorofyllin merkitystä fotosynteesissä. Miehistä 37 % ja naisista 35 % vastasi kysymykseen oikein. Vastausten riippuvuudelle sukupuolesta lasketun Khiin neliö -testin p-arvo oli 0,501 eli sukupuolen ja vastauksen välillä ei ole riippuvuutta ($0,501 > 0,05$).

Kysymykset seitsemän, kahdeksan ja yhdeksän käsittelivät valon ja energian roolia fotosynteesissä. 76 % naisista ja 75 % miehistä vastasi kysymykseen seitsemän oikein. Molemmista sukupuolista noin joka kymmenes vastasi kysymykseen kahdeksan väärin (miehet 11 % ja naiset 14 %) Kysymysten 7 ja 8 vastausten erot sukupuolten välillä olivat pieniä. Khiin neliö -testi jätettiin laskematta.

Kysymyksessä yhdeksän käsiteltiin energian roolia. Miehistä 26 % ja naisista 40 % vastasi molempiin kysymyksen 9 kohtiin oikein. Khiin neliö -testin p-arvo oli 0,089 eli sukupuolen ja oikean vastauksen välillä ei ole riippuvuutta ($0,089 > 0,05$).

5.3 Käytyjen kemian kurssien määrän vaikutus vastauksiin

Kolmas tutkimuskysymys käsittelee käytyjen kemian kurssien määrän vaikutusta fotosynteesiin liittyvien vaihtoehtoisten käsitysten esiintymiseen lukiolaisilla. Kysymyslomakkeen ensimmäisen kysymyksen väärin vastanneista 83 %, vaillinaisesti vastanneista 75 % ja oikein vastanneista 25 % oli käynyt enintään yhden kemian kurssin. Oikein vastasi yli kolmannes vastaajista, kun kurseja oli käyty vähintään kaksi. Tämä on esiteltyä taulukossa 14. Khiin neliö -testiä ei laskettu, koska vastaajia ei saatu luokiteltua siten, että laskusta olisi saatu pätevä.

TAULUKKO 14. Käytyjen kemian kurssien vaikutus ensimmäisen kysymyksen vastausten perusteluun.

			Käytyjen kemian kurssien lukumäärä			Yhteensä
			0-1	2-3	4<	
Perustelu	Väärin	f	72	10	5	87
	% vastaajista		82,8%	52,6%	75,7%	100,0%
	Vaillinainen	f	12	3	1	16
	% vastaajista		13,8%	15,8%	13,9%	100,0%
	Oikein	f	3	6	3	12
	% vastaajista		3,4%	31,6%	33,3%	100,0%
Yhteensä			87	19	9	115
% vastaajista			100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Lomakkeen toisen kysymyksen vastauksen oikeellisuutta on tarkasteltu taulukossa 15. Vastaajat jouduttiin luokittelemaan uusiksi, jotta oli mahdollista laskea tilastollista riippuvuutta. Neljäsosa vastaajista (30 vastaajaa) oli käynyt enemmän kuin kaksi kurssia ja heistä 11 sai pisteitä vähintään kaksi. Enintään yhden kurssin käyneitä oli 89 vastaajaa ja heistä 11 sai pisteitä vähintään kaksi. Oikeiden vastausten ja käytyjen kemian kurssien väliselle riippuvuudelle lasketun khiin neliö -testin p-arvo oli 0,005 eli tilastollista riippuvuutta löytyi.

TAULUKKO 15. Kysymyksen 2 pisteytys käytyjen kemian kurssien mukaan.

			Käytyjen kemian kurssien lukumäärä		Yhteensä
			0-1	2<	
Pisteet	0	f	34	5	39
		% vastaajista	38,2%	16,7%	32,8%
	1	f	44	14	58
		% vastaajista	49,4%	46,7%	48,7%
	2	f	11	11	22
		% vastaajista	12,4%	36,7%	18,5%
Yhteensä			89	30	119
			100,0%	100,0%	100,0%

Kolmas ja neljäs kysymys käsittelivät fotosynteesin reaktioyhtälön muodostamista. Taulukossa 16 on jaoteltu oikeat ja väärät vastaukset käytyjen kemian kurssien mukaan. Jos kemian kurseja oli käyty vähintään kolme, niin molemmat vastaukset olivat oikein. Jos vastaaja oli käynyt enintään yhden kemian kurssin, niin vastaus oli oikein noin 70 % varmuudella. Khiin neliö -testiä ei laskettu, mutta luokittelu muutettiin tulosta paremmin havainnoivaksi.

TAULUKKO 16. Oikeat vastaukset jaoteltu vastaajan käymien kemian kurssien määrän mukaan.

			Käytyjen kemian kurssien lukumäärä				Yhteensä
			0-1	2	3	4<	
Kysymykset 3 ja 4	Väärin	f	27	4	0	0	31
		% vastauksista	30,3%	36,4%	,0%	,0%	26,1%
	Oikein	f	62	7	10	9	88
		% vastauksista	69,7%	63,6%	100,0%	100,0%	73,9%
Yhteensä			89	11	10	9	119
			100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Kysymyksessä viisi tarkasteltiin vastaajien ymmärrystä fotosynteesin ja soluhengityksen suhteesta. Käytyjen kemian kurssien suhdetta annettuun vastaukseen on tarkasteltu taulukossa 17. Noin puolet vastaajista, jotka olivat käyneet vähintään kaksi kemian kurssia, vastasivat kysymykseen oikein. Oikeiden vastausten ja käytyjen kemian kurssien väliselle riippuvuudelle laskettiin Khiin neliö -testin p-arvo, joka oli 0,512. Käytyjen kemian kurssien ja vastauksen oikeellisuuden välillä ei ole riippuvuutta ($0,512 > 0,05$). Yleisin vastaus vastaajilla, jotka olivat käyneet enintään yhden kemian kurssin, oli "fotosynteesi on kasvien hengitystä". Tämä vaihtoehtoinen käsitys näyttäisi vähenevän kurssien määrän kasvaessa.

TAULUKKO 17. Kysymys numero viiden vastaukset käytyjen kemian kurssien määrän mukaan jaoteltuna.

5. Valitse oikea väite seuraavista:

- i) Fotosynteesi on kasvien hengitystä.
- ii) Fotosynteesi ja soluhengitys tapahtuvat kasveissa samaan aikaan.
- iii) Kasvi fotosyntetisoi silloin, kun soluhengitystä ei tapahdu.
- iv) Kasvien soluissa ei tapahdu soluhengitystä.

		Käytyjen kemian kurssien lukumäärä			Yhteensä
		0-1	2-3	4<	
Vastausvaihtoehdot	i) f	40	8	0	48
	% vastauksista	44,9%	38,1%	,0%	40,7%
	ii f	35	11	4	50
	% vastauksista	39,3%	52,4%	50,0%	42,4%
	iii) f	12	1	4	17
	% vastauksista	13,5%	4,8%	50,0%	14,4%
	iv) f	2	1	0	3
	% vastauksista	2,2%	4,8%	,0%	2,5%
Yhteensä f		89	21	8	118
% vastauksista		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Alla on esitetty taulukoituna (taulukko 18) 10. kysymyksen vastaukset siten, että niistä näkee käytyjen kemian kurssien vaikutuksen. 10a-kohtaan vastasi oikein 34 %, kun kursseja oli käyty enintään yksi. Oikeita vastauksia oli 40 %, kun kursseja oli käyty 2-3. Puolet heistä, jotka olivat käyneet enemmän kuin neljä kurssia, vastasivat oikein. Khiin neliö -testiä ei laskettu.

TAULUKKO 18. Taulukoidut vastaukset 10. kysymyksestä käytyjen kurssien määrän mukaan.

10a. Mitä kaasua kasvit ottavat sisäänsä, kun auringon energiaa ei ole saatavilla?

i) Hiilidioksidia

ii) Happea

10b. Vastasin 10.a. kohtaan näin, koska

i) Tätä kaasua käytetään kasveissa koko ajan tapahtuvassa fotosynteesissä.

ii) Tätä kaasua käytetään fotosynteesissä, jota tapahtuu vain kun auringon energiaa ei ole saatavilla.

iii) Tätä kaasua käytetään soluhengityksessä, jota tapahtuu vain kun auringon energiaa ei ole saatavilla fotosynteesiä varten.

iv) Tätä kaasua käytetään kasveissa koko ajan tapahtuvassa soluhengityksessä.

v) Oma vastaus.

Käydyt kurssit	Vastaajien lukumäärä	10.a-osion vastaus	Perustelu 10.b-osiossa				
			i)	ii)	iii)	iv)	v)
0-1	57	i)	31	6	2	10	8
	29 (34 %)	ii)	5	4	8	11 (13 %)	1
2-3	12	i)	3	0	2	5	2
	8 (40%)	ii)	0	1	3	4 (20 %)	0
4<	6	i)	2	0	0	1	1
	6 (50 %)	ii)	0	0	5	2 (17%)	0

Kuudes kysymyslomakkeen kysymys käsitteli klorofyllin merkitystä fotosynteesissä. Taulukossa 19 on eritelty vastaukset käytyjen kemian kurssien lukumäärän mukaan. Mitä enemmän kursseja oli käyty, sitä varmemmin vastaus oli oikein. Oikeiden vastausten ja käytyjen kemian kurssien väliselle riippuvuudelle lasketun Khiin neliö -testin p-arvo oli 0,016 eli käytyjen kemian kurssien ja vastauksen oikeellisuuden välillä löytyi riippuvuutta ($0,016 < 0,05$). Jos kursseja oli käyty enintään yksi, niin joka kolmas tiesi vastauksen. Kun kurssien määrä oli vähintään neljä, niin 75 % osasi vastata kysymykseen oikein.

TAULUKKO 19. Kysymys 6 vastaukset käytyjen kemian kurssien lukumäärän mukaan jaoteltuna.

			Käytyjen kemian kurssien lukumäärä			Yhteensä
			0-1	2-3	4<	
6. Mikä on klorofyllin rooli fotosynteesissä?	i) Klorofylli on välttämätön % vastauksista	f	24 29,6%	10 50,0%	6 75,0%	40 36,7%
	fotosynteesille					
	ii) Klorofylliä tuotetaan % vastauksista	f	14 17,3%	3 15,0%	0 ,0%	17 15,6%
	fotosynteesissä.					
	iii) Klorofylli on epäoleellinen % vastauksista	f	25 30,9%	5 25,0%	1 12,5%	31 28,4%
	fotosynteesissä.					
	iv) Klorofylliä kulutetaan % vastauksista	f	18 22,2%	2 10,0%	1 12,5%	21 19,3%
	fotosynteesissä.					
Yhteensä		f	81	20	8	109
		% vastauksista	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Kysymykset seitsemän, kahdeksan ja yhdeksän käsitteivät valon ja energian roolia fotosynteesissä. Käytyjen kemian kurssien määrä näyttäisi vaikuttavan positiivisesti kysymysten seitsemän ja kahdeksan osalta, kuten taulukoista 20 ja 21 näkyy. Kaikki yhdeksän vastaajaa, jotka olivat käyneet vähintään neljä kurssia, vastasivat molempiin kysymyksiin oikein. Oikeiden vastausten ja käytyjen kemian kurssien väliselle riippuvuudelle lasketun Khiin neliö -testin p-arvo kysymykselle 7 oli 0,132. Käytyjen kemian kurssien ja vastauksen oikeellisuuden välille ei löydetty riippuvuutta ($0,132 > 0,05$). Kysymykselle 8 ei Khiin neliö -testin arvoa saatu laskettua, koska oikeiden vastausten osuus oli niin suuri, ettei väärin vastausten soluihin tullut tarpeeksi arvoja laskua varten.

TAULUKKO 20. Kysymys 7 ja käydyt kemian kurssit.

		Käytyjen kemian kurssien lukumäärä			Yhteensä
		0-1	2-3	4<	
7. Milloin fotosynteesiä tapahtuu?	i) päivällä f	1	1	0	2
	% vastauksista	1,1%	4,8%	,0%	1,7%
	ii) kun valoa f	64	17	9	90
	saatavilla % vastauksista	71,9%	81,0%	100,0%	75,6%
	iii) koko ajan f	24	3	0	27
	% vastauksista	27,0%	14,3%	,0%	22,7%
Yhteensä f		89	21	9	119
% vastauksista		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

TAULUKKO 21. Kysymys 8 ja käydyt kemian kurssit.

		Käytyjen kemian kurssien lukumäärä			Yhteensä
		0-1	2-3	4<	
8. Mikä on valon rooli fotosynteesissä?	i) kasvit saavat energiaa f	75	20	9	104
	% vastauksista	84,3%	95,2%	100,0%	87,4%
	fotosynteesiä varten.				
	ii) kasvien f	4	1	0	5
	lämmittämiseksi. % vastauksista	4,5%	4,8%	,0%	4,2%
	iii) ravinteiden f	10	0	0	10
	lähteeksi % vastauksista	11,2%	,0%	,0%	8,4%
Yhteensä f		89	21	9	119
% vastauksista		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Kysymyksessä yhdeksän oikeiden vastausten ja käytyjen kemian kurssien väliselle riippuvuudelle lasketun Khiin neliö -testin p-arvo oli 0,432 eli käytyjen kemian kurssien ja vastauksen oikeellisuuden välillä ei ole riippuvuutta ($0,432 > 0,05$). Taulukossa 22 on esitelty käytyjen kemian kurssien määrän vaikutusta vastauksiin. Vastauksia tarkastellessa näyttäisi jopa siltä, että vaihtoehtoisten käsitysten määrä voisi kasvaa kurssien määrän kasvaessa. Tätä ei ole kuitenkaan määritetty tilastollisesti.

TAULUKKO 22. Taulukoidut vastaukset 9. kysymyksestä käytyjen kurssien lukumäärän mukaan.

9a. Kasveilla soluhengitystä tapahtuu

i) Vain juuren soluissa.

ii) Kaikissa kasvin soluissa.

iii) Vain lehtien soluissa.

9b. Vastasin 9.a-kohtaan näin, koska

i) Kaikki elävät solut tarvitsevat energiaa.

ii) Vain lehdissä on erityiset raot kaasujen vaihtoon.

iii) Vain juurissa on rakoja hengitystä varten

iv) Vain juuret tarvitsevat energiaa, jotta voivat hankkia vettä.

v) Oma vastaus.

Käydyt kurssit	Vastaajien lukumäärä	9.a-osion vastaus	Perustelu 9.b-osiossa				
			i)	ii)	iii)	iv)	v)
0-1	9	i)	2	1	2	1	3
	36	ii)	31 (35 %)	1	2	0	2
	44	iii)	3	28 (31%)	0	1	12
2-3	0	i)	0	0	0	0	0
	9	ii)	7 (33%)	2	0	0	0
	12	iii)	0	10 (48 %)	0	0	2
4<	0	i)	0	0	0	0	1
	1	ii)	1 (13%)	0	0	0	0
	7	iii)	1	5 (63 %)	0	0	0

6 Johtopäätökset ja pohdinta

Tämän tutkimuksen tavoite oli kartoittaa pääkaupunkiseudun lukiolaisten vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesistä ja minkälaisia nämä mahdolliset vaihtoehtoiset käsitykset ovat. Lisäksi tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää vaikuttaako vastaajan sukupuoli tai vastaajan käymien kemian kurssien määrä vaihtoehtoisten käsitysten esiintymiseen.

6.1 *Opiskelijoiden vaihtoehtoiset käsitykset*

Tutkimuksen perusteella pääkaupunkiseudun opiskelijoilla on runsaasti vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesistä ja sen kemiasta. Fotosynteesissä esiintyvien kaasujen kemiaan liittyvät vaihtoehtoiset käsitykset olivat yleisiä. Kaasujen kiertoon liittyvä keskeisin vaihtoehtoinen käsitys, vastaajat eivät ymmärtäneet kasvien tarvitsevan myös happea hiilidioksidin lisäksi (kasvit eivät hengitä), oli yli puolella vastaajista. Tämä liittyy olennaisesti myös siihen, mitä opiskelijat ymmärsivät kasvien hengityksellä. Vastaavia tuloksia on saatu myös aiemmasta Amirin ja Tamirin (1990) tutkimuksesta, jossa oli esitetty aivan vastaava kysymys opiskelijoille. Valtaosalla (67 %) heidän tutkimistaan opiskelijoista oli käsitys siitä, että kasvit eivät hengitä.

Yli puolet vastaajista (52,9 %) vastasi kasvien soluhengityksen tapahtuvan vain lehtien soluissa, kun kysyttiin missä kasveilla tapahtuu soluhengitystä. Nämä vastaajat mahdollisesti sekoittivat soluhengityksen fotosynteesiin. Kasvien hengitykseen liittyviä vaihtoehtoisia käsityksiä nousi esiin useista eri tutkimuslomakkeen kysymysten vastauksista (1., 2., 5. 9. ja 10. kysymys). Näihin vaihtoehtoihin käsityksiin kuuluu edellä esitettyjen vaihtoehtoisten käsitysten lisäksi se, että fotosynteesi ja hengitys eivät tapahdu kasveissa samaan aikaan (14 % vastaajista). Tulokset ovat vastaavia kuin seuraavissa tutkimuksissa Lumpe ja Staver (1995), Amir ja Tamir (1990) ja Eisen ja Stavy (1988).

Fotosynteesin reaktioyhtälön annetuista vaihtoehtoista pystyi muodostamaan lähes kolme neljästä (73,3 %) vastaajasta. Lähes kaikilla muilla (23,3 %) oli ongelma muodostaa reaktioyhtälö, jossa samoja aineita ei esiinny sekä lähtöaineiden että tuotteiden puolella. Lähtöaineet tiesi oikein 77,5 % ja tuotteet 85 % vastaajista. Lähes joka neljännen (22,5 %) vastaajan mielestä kasvit tarvitsevat fotosynteesiin happea. Tämä vahvistaa edellisessä kappaleessa esitettyä tulosta siitä, että opiskelijat sekoittavat kasvien fotosynteesin ja hengityksen keskenään. Marmarotin ja Galanopouloun (2006) tutkimuksessa 25 % 13 - vuotiaista kreikkalaisista vastaajista osasi muodostaa reaktioyhtälön oikein.

Klorofyllin roolia fotosynteesissä ei ymmärtänyt 64 % vastaajista. Peräti 36 % käsitti klorofyllin joko fotosynteesin lähtöaineeksi tai tuotteeksi. Tämä lisää varmuutta siitä, ettei kaikki opiskelijat käsitä fotosynteesiä kemiallisena reaktiona. Heistä, jotka osasivat muodostaa reaktioyhtälön oikein edellisessä kohdassa, yli neljäsosa (27,5 %) sijoitti klorofyllin joko fotosynteesin tuotteeksi tai lähtöaineeksi. Klorofyllin roolin ymmärtämistä on aiemmin tutkittu Marmarotin ja Galanopouloun (2006) tutkimuksessa. Heidän tutkimansa kreikkalaislapset saivat kysymyksestä parempia tuloksia kuin tämän tutkimuksen lukiolaiset. Erikoisiin vastauksiin saattaa olla syynä klorofylli termin outous suomalaisvastaajille. Lehtivihreä olisi varmasti ollut vastaajille tutumpi termi.

Useissa kysymyksissä nousi esiin vaihtoehtoinen käsitys auringon roolista fotosynteesissä. Kysymyksessä seitsemän melkein joka neljännellä vastaajalla (23,1 %) oli vaihtoehtoinen käsitys siitä, että fotosynteesiä tapahtuu koko ajan huolimatta siitä, miten valoa on saatavilla. Kysymyksessä kymmenen vastaava ongelma oli 30,8 % vastaajista. Kun valon roolia fotosynteesissä kysyttiin suoraan, niin miltei yhdeksän kymmenestä (87,6 %) vastaajasta osasi vastata oikein kasvien saavan auringosta energiaa fotosynteesiä varten. Kasvisolujen soluhengityksen roolin ja energiatarpeen ymmärsi joka kolmas vastaaja (33,6 %).

Ensimmäisessä tutkimuskysymyksessä etsittiin vastausta siihen onko opiskelijoilla vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesin kemiasta. Vastaus tähän on, että erilaisia vaihtoehtoisia käsityksiä näyttäisi vastaajilla olevan lukuisia erilaisia useista eri aiheista. Keskeisimmät vaihtoehtoiset käsitykset liittyivät fotosynteesin riippuvuuteen valosta, soluhengityksen sekoittamiseen fotosynteesiin ja kasvin solujen energian tarpeeseen. Lisäksi vaihtoehtoisia käsityksiä oli joko fotosynteesin ymmärtämisessä kemiallisesti reaktioksi tai yleisesti kemiallisen reaktioyhtälön muodostamisessa. Termi klorofylli näyttäisi olevan vastaajille outo.

6.2 Sukupuolen vaikutus vaihtoehtoiisiin käsityksiin

Yhdessäkään kysymyksessä ei noussut esiin sukupuolen vaikutusta vastauksiin. Siten tutkimuksen toisen tutkimuskysymyksen vastaus on, että sukupuoli ei vaikuta vaihtoehtoisten käsitysten esiintymiseen eikä vastauksen oikeellisuuteen. Vastaavankaltainen tulos esiintyy myös Haslamin ja Treagustin (1987) ja Treagustin (1986) tutkimuksissa.

6.3 Käytyjen kemian kurssien määrän vaikutus vaihtoehtoiisiin käsityksiin

Kolmannessa tutkimuskysymyksessä etsittiin vastausta siihen vaikuttaako käydyt kemian kurssit fotosynteesiin liittyvien vaihtoehtoisten käsitysten esiintymiseen lukiolaisilla. Käytyjen kemian kurssien määrän vaikutuksesta löytyi tilastollista riippuvuutta kysyttäessä klorofyllin roolista fotosynteesissä. Tässä kysymyksessä oleellista oli tunnistaa termi klorofylli. Termi oli tutumpi opiskelijoille, jotka olivat opinnoissaan pidemmällä.

Opintojen määrällä näyttäisi olevan vaikutusta myös kykyyn perustella fotosynteesissä oleellisen yhdisteen ominaisuuksia. Tätä asiaa käsitelleessä kysymyksessä pyydettiin perustelemaan kemian avulla erilaisia väitteitä liittyen hiilidioksidiin. Tilastollinen ero vastausten oikeellisuudessa näkyi, jos verrattiin opiskelijoita, jotka olivat käyneet joko alle kaksi tai vähintään kaksi kemian kurssia. Kyseinen tehtävä on vanha kemian ylioppilastehtävä.

Kemian kurssien määrä ei näyttäisi vaikuttavan siihen miten vastaajat ymmärsivät fotosynteesin ja hengityksen suhdetta kasveilla. Mahdollisesti enemmän kemian kursseja käyneet vastaajat ymmärsivät paremmin, että fotosynteesi ei ole kasvien hengitystä. Tästä ei voitu laskea tilastollista riippuvuutta. Käydyillä kemian kursseilla ei ole tilastollista riippuvuutta kysymyksen "milloin fotosynteesiä tapahtuu" vastauksiin.

Lomakkeen kysymyksissä 1, 8 ja 10 analysointiin tuotti ongelmia se, ettei niistä pystytty laskemaan vastauksen riippuvuudelle käydyistä kursseista tilastollista arvoa. Ongelma ei ratkennut, vaikka luokittelua pyrittiin muuttamaan usealla eri tavalla. Tämän ongelman analysointiin aiheutti pidemmällä kemian opinnoissaan olevien vastaajien pieni määrä. Khiin neliö -testin p-arvon laskemista varten kaikissa vastausvaihtoehdoissa tulee olla tietty määrä vastauksia. Näissä kysymyksissä näyttäisi mahdollista riippuvuutta olevan, mutta tilastollisesti tätä ei voitu laskea. Täten näiltä osin vastaukset kolmanteen tutkimuskysymykseen ovat vain viitteitä mahdollisuudesta, että riippuvuutta olisi.

Näitä mahdollisia riippuvuuksia käydyistä kemian kurssien määrästä voisi olla seuraavissa asioissa. Kemian opintojen määrällä näyttäisi olevan positiivista vaikutusta fotosynteesin reaktioyhtälön muodostamiselle. Opiskelijoiden ymmärrys aineiden kierrosta ja valon roolista fotosynteesissä näyttäisi kasvavan siirryttäessä opinnoissa pidemmälle.

Käytyjen kemian kurssien määrän kasvaessa kasvaa usein myös vastaajan käymien biologian kurssien määrä ja vastaajan ikä. Tietoa ei kuitenkaan ole miten nämä vaikuttavat vaihtoehtoisiiin käsityksiin. Vastaavia tuloksia, kuin tässä tutkimuksessa, on aiemmin saatu Haslamin ja Treagustin (1987) ja Treagustin (1986) tutkimuksissa: fotosynteesiin liittyvien vaihtoehtoisten käsitysten määrä pienenee siirryttäessä luokkatasoilla ylemmäksi.

6.4 Tutkimuksen merkitys

Fotosynteesin kemiaan liittyviä vaihtoehtoisia käsityksiä lukiolaisilla ei ole aiemmin tutkittu Suomessa. Tutkimuksesta käy ilmi, että myös suomalaisnuorilla on paljon vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesin kemiasta. Jo pelkästään aiheen ajankohtaisuuden vuoksi olisi merkittävää saada vähennettyä näitä fotosynteesiin liittyviä vaihtoehtoisia käsityksiä.

Tutkimuskirjallisuuden mukaan fotosynteesiä, kuten muitakin abstrakteja aiheita, tulisi opettaa oppijalle läheisessä kontekstissa (Ray ja Beardsley, 2008). Konteksteja, joita opetuksessa tulisi käyttää, on erilaisia: käytännönläheisiä, teoreettisia, sosiaalisia ja historiallisia. Näitä konteksteja tulisi käyttää monipuolisesti ja päällekkäin, jotta oppimistulos olisi mahdollisimman hyvä (Klassen, 2006). Vertaisopetuksen ja pienryhmätyöskentelyn on todettu auttavan fotosynteesin opiskelussa (Lumpe ja Staver, 1992), samoin erilaiset opetusta tukevat välineet, kuten tietokoneavusteinen opetus (Çepnin työryhmä, 2006) ja käsitekarttatekniikka (Brown, 2003). Yenilmezin ja Tekkayan (2006) sekä suomalaisen Mikkilä-Erdmannin (2002) mukaan käsitteellisen muutoksen metodi opetuksessa auttaa vähentämään vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesistä. Lisäksi fotosynteesiä opettavien opettajien omiin vaihtoehtoihin tulisi pyrkiä vaikuttamaan (Käpylä et al., 2009; Anderson et al., 1990). Fotosynteesiä opetettaessa tulisi käyttää kokeellisuutta (Ray ja Beardsley, 2008; Erduran, 1999) ja minimoida yksityiskohtien määrä, jotta kokonaisuus olisi helpompi oppia (Eisen ja Stavy, 1992).

Jatkossa olisi hyvä tutkia, millä tavalla fotosynteesi esiintyy lukion oppikirjoissa. Miten biologian opetus lukiossa vaikuttaa fotosynteesin vaihtoehtoihin käsityksiin? Kuinka fotosynteesin kemiaa tulisi opettaa, jotta vaihtoehtoiset käsitykset vähenisivät lukiolaisilla? Miten lukion kemian opettajat ymmärtävät fotosynteesiä ja sen kemiaa? Miten fotosynteesiä opetetaan Suomessa? Vaikuttaako vastaajan ikä vastauksissa esiintyviin vaihtoehtoihin käsityksiin? Lisäksi mielenkiintoinen lisätutkimuksen aihe on kehittämistutkimus siitä minkälainen opetusmateriaali ja välineistö tukisivat parhaiten fotosynteesin kemian oppimista.

LÄHTEET

Amir, R. ja Tamir, P. (1990). *Detailed Analysis of Misconceptions as a Basis for Developing Remedial Instruction: The Case of Photosynthesis*, konferenssijulkaisu, American Educational Research Association (AERA), Boston.

Amunts, A. ja Nelson, N. (2008). *Plant Physiology and Biochemistry* **46** 228.

Anderson, C.W., Sheldon, T.H. ja DuBay, J. (1990). *Journal of Research in Science Teaching* **27** 761.

Andersson, I. ja Backlund, A. (2008). *Plant Physiology and Biochemistry* **46** 275.

Berg, J.M., Tymoczko, J.L. ja Stryer, L. (2006). *Biochemistry*, 6. painos, W.H. Freeman and Company, New York.

Brown, D.S. (2003). *The American Biology Teacher* **65** 192.

Bybee, R.W., Taylor, J.A., Gardner, A., Van Scotter, P., Carlson Powel, J. Westbrook, A. ja Landes, N. (2006). *The BSCS 5E Instructional Model: Origins, Effectiveness, and Applications*, BSCS. < <http://www.bsccs.org/pdf/bsccs5eexecsummary.pdf>>, 26.7.2010.

Calvin, M. ja Bassham, J.A. (1962). *The Photosynthesis of Carbon Compounds*, W. A. Benjamin, Inc, New York.

Campbell, N.A., Reece, J.B., Urry, L.A., Cain, M.L., Wasserman, S.A., Minorsky, P.V. ja Jackson, R.B. (2008). *Biology*, 8. painos, Pearson Education, Inc, San Francisco.

Carlsson, B. (2003). *Australian Science Teachers' Journal* **49** 26.

Carlsson, B. (2002a). *International Journal of Science Education* **24** 681.

Carlsson, B. (2002b). *International Journal of Science Education* **24** 701.

Çepni, S., Taş, E. ja Köse, S. (2006). Computers & Education **46** 192.

Eisen, Y. ja Stavy, R. (1988). The American Biology Teacher **50** 208.

Eisen, Y. ja Stavy, R. (1992). The American Biology Teacher, **54** 339.

Erduran, S. (2001). Science & Education **10** 581.

Fromme, P., Yu, H., DeRuyter, Y.S., Jolley, C., Chauhan, D.K., Melkozernov, A. ja Grotjohann, I. (2006). Comptes Rendus Chimie **9** 188.

Gobets, B. ja van Grondelle, R. (2001). Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics **1507** 80.

Govindjee ja Krogmann, D. (2004). Photosynthesis Research **80** 15.

Govindjee, Allen, J.F. ja Beatty, J.T. (2004). Photosynthesis Research **80** 1.

Griffard, P.B. ja Wandersee, J.H. (2001). International Journal of Science Education **23** 1039.

Gutteridge, S. ja Jordan, D.B. (2001). Teoksessa *Regulation of Photosynthesis*, Toimittaneet Aro, E. ja Andersson, B., Kluwer Academic Publishers, Alankomaat, luku 17: Dynamics of Photosynthetic CO₂ Fixation: Control, Regulation and Productivity.

Haslam, F. ja Treagust, D.F. (1987). Journal of Biological Education **21** 203.

Herrmann, R.G. ja Westhoff, P. (2001). Teoksessa *Regulation of Photosynthesis*, Toimittaneet Aro, E. ja Andersson, B., Kluwer Academic Publishers, Alankomaat, luku 1: Thylakoid Biogenesis and Dynamics: The Result of a Complex Phylogenetic Puzzle.

Hirsjärvi, S., Remes, P. ja Sajavaara, P. (2005). *Tutki ja kirjoita*, 11. painos, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä.

Holopainen, M. ja Pulkkinen, P. (2003). *Tilastolliset menetelmät*, 1.-2. painos, WSOY, Vantaa.

Hynninen, P.H. ja Leppäkaskes, T.S. (2004). Teoksessa *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Physiology and Maintenance*. Toimittaneet Hänninen, O. O. P. ja M. Atalay, EOLSS, Oxford, UK; <http://www.eolss.net>. The Functions of Chlorophylls in Photosynthesis.

Hynninen, P.H. (1990). *Kemia-Kemi* **17** 241.

Hynninen, P.H. (1991). Teoksessa *Chlorophylls*, toimittanut Scheer, H., CRC Press, Inc, USA, luku 1.7: Chemistry of Chlorophylls: Modifications.

Ihalainen, J. (2002). *Spectroscopic studies on light-harvesting complexes of green plants and purple bacteria*, väitöskirja, Jyväskylän yliopisto, Jyväskylä.

Klassen, S. A. (2006). *Interchange* **37** 31.

Käpylä, M., Heikkinen, J.P. ja Asunta, T. (2009). *International Journal of Science Education* **31** 1395.

Lawlor, D.W. (2001). *Photosynthesis*, BIOS Scientific Publishers Limited, USA.

Lumpe, A.T. ja Staver, J.R. (1995). *Journal of Research in Science Teaching* **32** 71.

Lüttge, U. (2007). *Comptes Rendus Biologies* **330** 375.

Malakhov, M. ja Bowler, C. (2001). Teoksessa *Regulation of Photosynthesis*, toimittaneet Aro, E. ja Andersson, B., Kluwer Academic Publishers, Alankomaat, luku 3: Phytochrome and Regulation of Photosynthetic Gene Expression.

Marmaroti, P. ja Galanopoulou, D. (2006). *International Journal of Science Education* **28** 383.

Mikkilä-Erdmann, M. (2002). *Textbook Text as a Tool for Promoting Conceptual Change in Science*, väitöskirja, Turun Yliopisto, Turku.

Nyman, E.S. ja Hynninen P.H. (2004). *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology* **73** 1.

Opetushallitus. (2003). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*, Opetushallitus, Helsinki. http://www.edu.fi/julkaisut/maaraykset/ops/lops_uusi.pdf, 26.7.2010.

Opetushallitus. (2004). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004*, Opetushallitus, Helsinki. http://www.oph.fi/ops/perusopetus/pops_web.pdf, 26.7.2010

Ray, A.M. ja Beardsley, P.M. (2008). *Science Activities* **45** 13.

Roy, H. ja Andrews, T.J. (2000). Teoksessa *Photosynthesis: Physiology and Metabolism*, toimittaneet Leegood, R.C., Sharkey, T.D. ja von Caemmerer, S. Kluwer Academic Publishers, Alankomaat, luku 3: Rubisco: Assembly and Mechanism.

Saarinen, H. (2005). *Kemian ylioppilastehtävät ratkaisuihin 1996-2005*, MFKA-kustannus Oy, Saarijärvi.

Sjöberg, S. (2000). *Naturvetenskap som allmänbildning – en kritisk ämnesdidaktik*, Studentlitteratur AB, Lund.

Tirri, R., Lehtonen, J., Lemmetyinen, R., Pihakaski, S. ja Portin, P. (2003). *Biologian Sanakirja*, 2. painos, Kustannusosakeyhtiö Otava, Keuruu.

Treagust, D. (1986). *Research in Science Education* **16** 199.

Treagust, D.F. ja Haslam, F. (1986). *Evaluating Secondary Students' Misconceptions of Photosynthesis and Respiration in Plants Using a Two-tier Diagnostic Instrument*, konferenssijulkaisu, National Association for Research in Science Teaching, San Francisco.

Waheed, T. ja Lucas, A.M. (1992). *Journal of Biological Education* **26** 193.

- Vandermeiren, K., Black, C., Lawson, T., Casanova, M.A. ja Ojanperä, K. (2002). *European Journal of Agronomy* **17** 337.
- Whitmarsh, J. ja Govindjee. (1995). *The Photosynthetic Process*, CH Publishers, Inc. <http://www.life.uiuc.edu/govindjee/paper/gov.html>, 26.7.2010.
- Voet, D. ja Voet, J.G. (2004). *Biochemistry*, 3. painos, John Wiley & Sons, Inc, USA.
- Allahverdiyeva, Y., Leino, H., Saari, L., Fewer, D.P., Shunmugam, S., Sivonen, K. ja Aro, E. (2010). *International Journal of Hydrogen Energy* **35** 1117.
- Yenilmez, A. ja Tekkaya, C. (2006). *Journal of Science Education and Technology* **15** 81.
- Yoshihara, K. ja Kumazaki, S. (2000). *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* **1** 22.
- Zubay, G.L. (1988). *Biochemistry*, 2. painos, Macmillan Publishing Company, New York.
- Özay, E. ja Öztas, H. (2003). *Journal of Biological Education* **37** 68.

LIITTEET

LIITE 1, Lähetetty pyyntö osallistua tutkimukseen

Hei,

Pyydän Sinua mahdollistamaan lukiosi opiskelijoiden osallistumisen Helsingin yliopiston Kemian opetuksen keskuksen tutkimukseen. Sen tavoitteena on kartoittaa lukiolaisten käsityksiä fotosynteesin kemiasta ja sen merkityksestä.

Vastata voi kolmella eri tavalla:

Ensisijaisesti tutkimukseen voi vastata Internetin kautta osoitteessa <https://elomake.helsinki.fi/lomakkeet/20941/lomake.html>

Tähän tapaan voi opiskelijoita pyytää vastaamaan, joko yhdessä luokan kanssa atk-luokassa tai itsenäisesti.

Toisena vaihtoehtona on, että tuon/postitan kyselyn paperiversioksi tulostettuna koululle tietyllä haluamallasi kappalemäärällä. Vastaaminen tapahtuu tunneilla. Noudan vastaukset myöhemmin.

Kolmantena vaihtoehtona on, että minä voin henkilökohtaisesti tulla pitämään kyselyn paperiversiona lukiolaisryhmille.

Tutkimustietoa käytetään kemian opetuksen ja sen opettajankoulutuksen kehittämiseen.

Parhain yhteistyöterveisin Antti Pohjola

KYSELYTUTKIMUS

Antti Pohjola

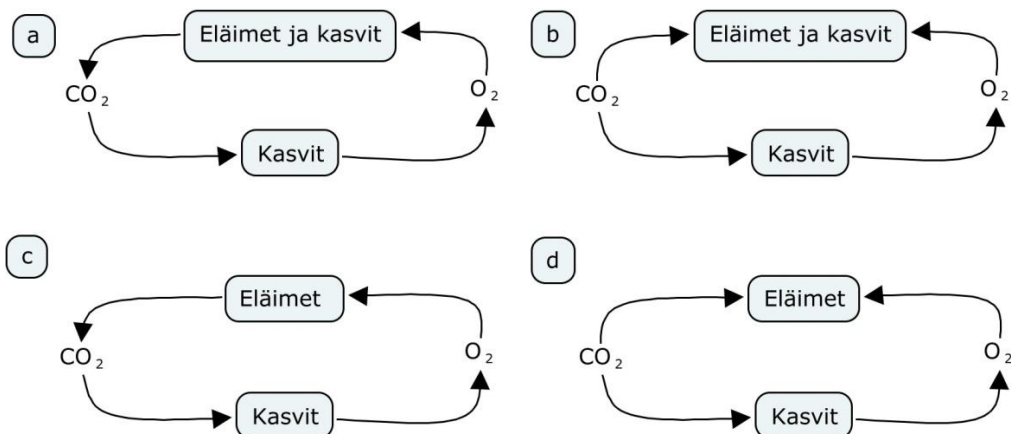
Pyydän Sinua osallistumaan Helsingin yliopiston Kemian opetuksen keskuksen tutkimukseen. Sen tavoitteena on kartoittaa lukiolaisten käsityksiä fotosynteesin kemiasta ja sen merkityksestä. Tutkimus koostuu kahdesta osasta: ensimmäisessä osiossa on monivalintakysymyksiä, joista osaan pyydetään myös perustelua. Toisessa osassa on kuusi avointa kysymystä. Tutkimukseen vastaaminen vie aikaa noin 15-30 min. Tutkimustietoa käytetään kemian opetuksen ja sen opettajankoulutuksen kehittämiseen. **Vastaamalla vaikutat! Kiitos vastauksestasi!**

I TAUSTA:

1. Sukupuoli: Mies____ Nainen____
2. Ikä (tänä vuonna): _____
3. Monta kemian kurssia olet käynyt lukiossa?_____

II FOTOSYNTESIN KEMIAN YMMÄRTÄMINEN

1. Mikä seuraavista piirroksista kuvaa hiilidioksidin ja hapen kiertoa luonnossa? Kirjoita kohdan kirjain alla olevaan kenttään. Anna vastaukseesi lyhyt perustelu.



Vastaus:

Perustelu:

2. Esitä kemiallinen perustelu seuraaville väitteille oheiseen tilaan:

i) fossiilisten polttoaineiden käyttö lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta

ii) sadeveden happamuus johtuu hiilidioksidista

iii) vihreät kasvit vähentävät ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta

iv) hiilidioksidi on normaaliolosuhteissa kaasu.

3. Mitä lähtöaineita kasvit tarvitsevat fotosynteesiin?

- i) vettä ja hiilidioksidia
- ii) happea ja vettä
- iii) happea ja sokereita
- iv) hiilidioksidia ja happea

4. Mitkä ovat fotosynteesin tuotteet?

- i) sokerit ja happi
- ii) hiilidioksidi ja sokerit
- iii) happi ja vesi
- iv) vesi ja hiilidioksidi

5. Valitse oikea väite seuraavista:

- i) Fotosynteesi on kasvien hengitystä.
- ii) Fotosynteesi ja soluhengitys tapahtuvat kasveissa samaan aikaan.
- iii) Kasvi fotosyntetisoi silloin, kun soluhengitystä ei tapahdu.
- iv) Kasvien soluissa ei tapahdu soluhengitystä.

6. Mikä on klorofyllin rooli fotosynteesissä?

- i) Klorofylli on välttämätön fotosynteesille
- ii) Klorofylliä tuotetaan fotosynteesissä.
- iii) Klorofylli on epäoleellinen fotosynteesissä.
- iv) Klorofylliä kulutetaan fotosynteesissä.

7. Milloin fotosynteesiä tapahtuu?

- i) päivällä
- ii) kun valoa saatavilla
- iii) koko ajan

8. Mikä on valon rooli fotosynteesissä?

- i) kasvit saavat energiaa fotosynteesiä varten.
- ii) kasvien lämmittämiseksi.
- iii) ravinteiden lähteeksi

9a. Kasveilla soluhengitystä tapahtuu

- i) vain juuren soluissa.
- ii) kaikissa kasvin soluissa.
- iii) vain lehtien soluissa.

9b. Vastasin 9.a-kohtaan näin, koska

- i) kaikki elävät solut tarvitsevat energiaa.
 - ii) vain lehdissä on erityiset raot kaasujen vaihtoon.
 - iii) vain juurissa on rakoja hengitystä varten
 - iv) vain juuret tarvitsevat energiaa, jotta voivat hankkia vettä.
 - v) oma vastaus
-

10a. Mitä kaasua kasvit ottavat sisään, kun auringon energiaa ei ole saatavilla?

- i) Hiilidioksidia
- ii) Happea

10b. Vastasin 10.a. kohtaan näin, koska

- i) Tätä kaasua käytetään kasveissa koko ajan tapahtuvassa fotosynteesissä.
 - ii) Tätä kaasua käytetään fotosynteesissä, jota tapahtuu vain kun auringon energiaa ei ole saatavilla.
 - iii) Tätä kaasua käytetään soluhengityksessä, jota tapahtuu vain kun auringon energiaa ei ole saatavilla fotosynteesiä varten.
 - iv) Tätä kaasua käytetään kasveissa koko ajan tapahtuvassa soluhengityksessä.
 - v) oma vastaus
-

III FOTOSYNTESISIN MERKITYS

Lue oheinen lehdessä ollut mielipidekirjoitus. Vastaa tämän jälkeen kysymyksiin 1-6.

Puhdasta energiaa auringon valoa hyödyntämällä

"Turussa ollaan jo aloittamassa biovetytutkimusta, joka perustuu fotosynteesiin mikro-organismeihin ja joka nopeassa tahdissa tullaan koordinoimaan eurooppalaiseksi yhteistyöksi."

Martti Tiuri kirjoitti Vieraskynässä (HS 6.10.), että perinteisellä bioenergialla ei ratkaista ilmaston lämpenemisongelmaa eikä energiakriisiä, vaan ainoat kestävät ratkaisut ovat sähkö ja vety. Jäljelle jääkin kysymys: mistä vety ja sähkö?

Öljy on mahdollistanut länsimaisen hyvinvoinnin nousun viime vuosisadan aikana, ja nyt samaa elintason nousua on tavoittelemassa yhä suurempi osa maapallon jatkuvasti kasvavasta väestöstä. Jotta länsimaissa kokemamme elintason nousu ei jäisi yksittäiseksi ja paikalliseksi piikiksi ihmiskunnan historiaan, olisi korkea aika siirtyä korvaavien ja puhtaiden energialähteiden kehittämiseen.

Suomessa pitäisi vakavasti pohtia kaltaisemme pienen mutta korkeasti koulutetun kansan kannalta järkevintä vaihtoehtoa tässä kehitystyössä. Perinteisellä ydinvoimalla pystytään tuottamaan energiaa, joka puolestaan on puhdasta käyttövoimaa teollisuudelle, liikenteelle ja kotitalouksille.

Ongelmana on turvallisuus, mutta on myös tosiasia, että uraania ei riitä loputtomiin. Nykyisin maapallolla on noin 450 ydinvoimalaa. Fossiilisen energian korvaamiseksi tulisi joka vuosi rakentaa noin 700 uutta reaktoria - ei siis kovinkaan kestävä yhtälö. Fuusioreaktioon perustuvaan uuteen ydinenergiaan halutaan uskoa, mutta kukaan ei kuitenkaan tiedä, koska ja missä mittakaavassa uusi ydinenergia tulee, jos on tullakseen.

Auringossa fuusioreaktio ainakin toimii! Tästä energiasta maan pinnalle tulee tunnissa suunnilleen yhtä paljon kuin koko ihmiskunta vuodessa kuluttaa. Yhteyttävät mikro-organismit ja kasvit ovat kehittäneet menetelmän, fotosynteesin, joka kerää ja sitoo tehokkaasti auringon energiaa ihmiselle hyödylliseen muotoon.

Moni ei ehkä tule ajatelleeksi, että nykyisen ja edesmenneen elävän luonnon tarjoamat jokapäiväiset hyödykkeet - kuten esimerkiksi ruoka ja vaatteet, puu, paperiteollisuuden kuidut ja musta kulta eli fossiiliset polttoaineet - ovat perimmiltään kaikki kasvien fotosynteesin tuotosta.

Miksi emme panosta tosissaan fotosynteesin molekyylimekanismien hyödyntämiseen puhtaan energian tuottamiseksi?

Yhdysvaltalaiset tutkijat heräsivät tosissaan tämän kysymyksen äärellä noin vuosi sitten, ja US Department of Energy (DoE) tukee nyt vahvasti alan tutkimusta. Euroopan johtavat tiedeasiantuntijat kokoontuivat bioinspiroidun aurinkoenergian hyödyntämisen tiimoilta Saksan Regensburgiin viime toukokuussa keskustelemaan maapallon hälyttävästä energia- ja ilmaston saastumistilanteesta ESF:n (European Science Foundation) tukemassa symposiumissa.

Olin mukana kokouksessa ja osallistuin "Valkoisen paperin" kirjoittamiseen, jota olemme edelleen työstäneet kesän ajan. Se on luettavissa osoitteessa http://www.ssnmr.leidenuniv.nl/content_docs/cleansolarfuels.pdf.

Tiedeyhteisömme sanoma on selvä: uskomme vahvasti viimeaikaisten fotosynteesimekanismeja koskevien tieteellisten läpimurtojen valossa, että fotosynteesin molekyylimekanismien hyödyntämisellä on tärkeä osuus tulevaisuuden puhtaan energian tuotannossa.

Fotosynteesimekanismeja hyödyntämällä voimme tulevaisuudessa tuottaa esimerkiksi vetyä suoraan vedestä välttämättä siten epäpuhtauksien kuten hiilidioksidin vapautumisen ilmaan. Käytännössä auringon valoa hyödyntävään ja luonnon mekanismeihin perustuvaan tai niitä matkivaan puhtaan energian tuottoon lähdetään Euroopassa tutkimuksen kolmella eri osa-alueella.

Ensinnäkin valokennoja voidaan tehostaa matkimalla fotosynteesin 3,5 miljardin vuoden aikana kehittynyttä nerokasta valoenergian keräyskoneistoa. Toisella tutkimusrintamalla rakennetaan keinotekoisia elävää luontoa matkivia laitteita, jotka hajottavat vettä vedyksi ja hapeksi aurinkoenergian avulla kuten fotosynteesi. Kolmas lupaava tutkimuslinja on muokata luonnon jo lähes valmiina olevia systeemejä tehokkaiksi biopolttoaineiden tuottajiksi. Tällöin voidaan tuottaa suoraan vetyä ja esimerkiksi metanolia ilman hiilihydraattiväli tuotteita.

Puhtaan vedyn tuottoon erityisen sopivia mikro-organismeja ovat tietyt fotosynteettiset viherlevät ja sinilevät eli syanobakteerit. Näillä on laskettu saavutettavan jopa 40-kertaisia tehokkuuksia verrattuna kasvien biomassan tuottoon. Tällaiset saavutukset luonnollisesti vaativat tehokasta kehitystyötä. Uuden sukupolven bioenergian tutkimussaralla Suomella on kaikki mahdollisuudet menestyä.

Turussa ollaan jo aloittamassa biovetytutkimusta, joka perustuu fotosynteettisiin mikro-organismeihin ja joka nopeassa tahdissa tullaan koordinoimaan eurooppalaiseksi yhteistyöksi. Nämä yhteistyötahot ovat jo valmiina. Etsimmekin parhaillaan kiinnostuneita suomalaisia tutkimusryhmiä puhaltamaan kanssamme yhteen "puhtaaseen" hiileen.

EVA-MARI ARO
akatemiaprofessori
President of the International Society of Photosynthesis Research
biologian laitos
Turun yliopisto
Lähde: Helsingin Sanomat 2006

Kysymykset ja vastaukset:

1. Miksi fotosynteesiä tutkitaan paljon?

2. Mitä professori Aro tarkoittaa mainitessaan biopolttoaineiden olevan eettisesti pulmallisia?

3. Mitä professori Aro tarkoittaa puhuessaan fotosynteesistä puhtaana energianlähteenä?

4. Miksi tutkijat keskittyvät tutkimaan erityisesti levien ja bakteerien mahdollista hyödyntämistä?

5. Mitä et ymmärtänyt fotosynteesistä artikkelissa?

6. Minkälaisia kysymyksiä artikkeli herättää sinussa?

KIITOS VASTAUKSESTASI!

LIITE 3, Aiemmin tutkittua.

Ketkä ja milloin	Artikkelin nimi	Mitä on tutkittu?	Miten on tutkittu?	Mitkä ovat tulokset?
Käpylä, Heikkinen ja Asunta, 2009	Influence of Content Knowledge on Pedagogical Content Knowledge: The case of teaching photosynthesis and plant growth	Tutkimus käsittelee luonnontieteellisen sisältötiedon ja pedagogisen tiedon suhdetta	Tutkittavina oli 20 suomalaista opettajaopiskelijaa, joista kymmenen oli biologiaa pääaineenaan lukevia opettajia ja 10 luokanopettajaa, jotka lukivat biologiaa sivuaineena. Tutkimus käsittelee näiden kahden eri ryhmän eroja sisältötietojen osalta. Tutkimusmetodina oli oppitunnin valmistelumetodi, jonka jälkeen tutkittavat vielä haastateltiin. Tutkittavia pyydettiin tekemään tuntisuunnitelma kahta opetustuntia varten aiheesta fotosynteesi ilman mitään apua lähteistä. Tämän jälkeen opettajat vastasivat kahteen lomakkeeseen (esitieto ja fotosynteesiin liittyvä). Nämä analysoitiin. Kahden viikon kuluttua tutkittavat haastateltiin liittyen tuntisuunnitelman tekoon liittyvistä asioista.	Luokanopettajilla oli joitakin suuria ongelmia liittyen fotosynteesin ymmärtämiseen. Heillä oli vaihtoehtoisia käsityksiä tai vaikeuksia yhdistää eri käsitteitä toisiinsa. Aineenopettajille fotosynteesi käsitteet olivat tutumpia ja paremmin hallussa. Luokanopettajien oli vaikeata tiedostaa oppilaidensa vaihtoehtoisia käsityksiä, koska heillä itsellään oli niitä lukuisia. Luokanopettajien opetuksen vaarana on, että he siirtävät omat vaihtoehtoiset käsityksensä suoraan oppilaille. Kumpikaan tutkituista ryhmistä ei osannut liittää tuntisuunnitelmiinsa kokeellisuutta tai demonstraatioita.

Ketkä ja milloin	Artikkelin nimi	Mitä on tutkittu?	Miten on tutkittu?	Mitkä ovat tulokset?
Ray ja Beardsley, 2008	Overcoming Student Misconceptions about Photosynthesis: A Model- and Inquiry-Based Approach Using Aquatic Plants	Artikkeli esittelee opetustavan, jolla pyritään vähentämään vaihtoehtoisia käsityksiä opiskeltaessa fotosynteesiä. Opetustapana on tutkivaoppiminen ja 5E-menetelmä (engage, explore, explain, extend ja evaluate). 5E-menetelmän vaiheet suomeksi ovat motivoi, tutki, selitä, sovello ja arvioi.	Opetusmenetelmällä on opetettu opiskelijoita Yhdysvaltalaisissa lukioissa. Artikkelin mukaan ei ole tehty tarkkoja tutkimuksia opetusmenetelmän vaikutuksesta oppimiseen. Tulokset perustuivat opettajien kokemukseen aikaisemmin opettamistaan kursseista ja niissä olleista oppimistuloksista Suoranaista vertailuryhmää ei ollut.	Menetelmän on todettu auttavan opiskelijoita ymmärtämään paremmin fotosynteesiä ja innostumaan siitä.
Marmaroti ja Galanopoulou, 2006	Pupils' Understanding of Photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects	Tutkimus käsittelee 13-vuotiaiden kreikkalaislasten vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesistä.	Tutkimus oli tehty 290 oppilaalle. Oppilaille tehtiin aiheeseen liittyvä kysymyskaavake, jossa oli 20 monivalintakysymystä yhteensä 24 kysymyksestä. Kysymyskaavake perustui aiemmin tehtyihin tutkimuksiin (mm. Haslam ja Treagust, 1987; Treagust, 1987; Griffard ja Wandersee, 2001). Tutkimus suoritettiin yhden oppitunnin aikana luokkahuoneissa.	Tutkimus oli jaoteltu kuuteen fotosynteesin osa-alueeseen. Näistä tämän opinnäytetyön kannalta mielenkiintoisimpina ovat fotosynteesi ja energia sekä fotosynteesi kemiallisena reaktiona. Lasten on tutkimuksen mukaan erittäin hankala ymmärtää energian muuttumista eri muotoon. Fotosynteesiä ei ymmärretä kemiallisen reaktiona tai reaktiota ei osata muodostaa oikein. Reaktioyhtälöä muodostettaessa suurimmalla osalla oppilaista oli samoja aineita reaktioyhtälön molemmilla puolilla. Oppilaat ymmärsivät auringon roolin tärkeyden. Klorofyllin roolia eivät oppilaat olleet sisäistäneet opetuksessa. Fotosynteesi on tutkimuksen mukaan vaikea aihe oppilaille.

Ketkä ja milloin	Artikkelin nimi	Mitä on tutkittu?	Miten on tutkittu?	Mitkä ovat tulokset?
Yenilmez ja Tekkaya, 2006	Enhancing Students' Understanding of Photosynthesis and Respiration in Plant Through Conceptual Change Approach	Tutkimus käsitteli 13–14-vuotiaiden oppilaiden käsityksiä fotosynteesistä ja hengityksestä. Miten käsitteellisen muutoksen metodi ja tietoverkon välityksellä tapahtuva keskustelu auttaa jäsentämään oppilaiden ymmärrystä aiheesta ja vähentämään vaihtoehtoisia käsityksiä.	Tutkimuksessa oli käytetty kaksikerroksista diagnoosia (Haslam ja Treagust, 1987) tutkittaessa käsitteellisen muutoksen metodin ja tietoverkon välityksellä tapahtuva keskustelun käyttöä opetettaessa fotosynteesiä. Tutkittavina oli 233 8-luokkalaista oppilasta, joista oli muodostettu tutkittavat ja kontrolliryhmät, kontrolliryhmää opetettiin perinteisesti opettajajohtoisesti. Testejä tehtiin kaksi: ennen ja jälkeen opetuksen.	Ennen testiä kontrolli ja tutkittavien ryhmien tulokset olivat miltei identtiset. Testin jälkeen tutkittavien ryhmien tulokset olivat huomattavasti parempia. Testattava opetustapa puolitti oppilaiden vaihtoehtoiset käsitykset, kun perinteinen opetus ei niiden lukumäärää juuri vähentänyt. Silti vaihtoehtoisia käsityksiä oppilaille jäi lukuisia. Näistä kemian käsitteisiin eniten liittyviä ovat seuraavat kaksi: 1) Vihreät kasvit hengittäessään ottavat sisäänensä hiilidioksidia ja uloshengittävät happea. 2) Vihreät kasvit hengittävät vain öisin, kun auringonvaloa ei ole.
Çepni, Taş ja Köse, 2006	The effects of computer-assisted material on students' cognitive levels, misconceptions and attitudes towards science	Tutkimus käsittelee tietokoneavusteisen materiaalin vaikutusta 50 turkkilaisen opiskelijan oppimiseen ja asenteisiin tiedettä kohtaan. Tutkittava aihealueena on fotosynteesi	Tutkimus sisälsi kaksi fotosynteesin oppimista tutkivaa testiä, PAT (photosynthesis achievement test) ja PCT (Photosynthesis concept test), ja yksi testi tutki asenteita tiedettä kohtaan. Kun PAT-testi on kohdennettu tutkimaan oppimisen tasoa, niin PCT-testi tutkii vaihtoehtoisia käsityksiä. Tutkittavina oli yksi testiryhmä ja yksi kontrolliryhmä. PAT-testissä oli 25 monivalintakysymystä ja ne oli suunnattu eri Bloomin taksonomian tasoille. PCT-testissä oli 13 kysymystä, joissa oli sekä avoimia-, että monivalintakysymyksiä.	Tietokoneavusteinen materiaali auttoi selvästi oppimistuloksissa. Vaihtoehtoiset käsitykset olivat ennen opetusta miltei samat ryhmien välillä. Testin jälkeen vaihtoehtoiset käsitykset olivat vähentyneet huomattavasti, mutta niitä silti oli. Vähentymistä oli tapahtunut enemmän tutkittavassa ryhmässä. Näistä vaihtoehtoisista käsityksistä esille nousivat erityisesti seuraavat: 1) Kasvien energian saantiin liittyvät 2) Kasvien ravinteiden hankinta 3) Fotosynteesin visualisointiin ja käsitteellistämiseen liittyvät

Ketkä ja milloin	Artikkelin nimi	Mitä on tutkittu?	Miten on tutkittu?	Mitkä ovat tulokset?
Özay ja Öztas, 2003	Secondary Students' interpretations of Photosynthesis and Plant Nutrition	Tutkimus käsittelee 14–15-vuotiaiden turkkilaisten oppilaiden vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesistä ja kasvien ravinnonsaannista.	Tutkimus on tehty 88 9-luokkalaiselle oppilaalle. Kysymyslomake oli avoin ja siinä oli 7 kysymystä.	Avoimen kysymyslomakkeen avulla pyrittiin pääsemään käsiksi oppilaiden syvempiin ajattelun tasoihin. Oppilailta oli tutkimuksen mukaan lukuisia vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesistä, etenkin fotosynteesin kemian hankaluus tuli esille pohdittaessa energian muuttumista eri muotoon ja siitä miten kasvit saavat hiilen kasvuunsa.
Carlsson, 2003	Dramatic Photosynthesis	Artikkeli esittelee fotosynteesin opettamistavan, jolla pyritään helpottamaan aiheen kompleksisuuden ja abstraktiuden ymmärtämistä ja innostaa aiheeseen. Opettamistapana on pedagoginen draama.	Opetusmenetelmällä on opetettu ruotsalaisia koululaisia. Menetelmässä on keskitytty etenkin fotosynteesin kemiaan. Carlsson nostaa esiin kuusi tärkeää näkökulmaa, jotka pitää ymmärtää fotosynteesiä opiskeltaessa: 1) Kaikki materiaali koostuu pienistä, liikkuvista hiukkasista, atomeista. (particle theory) 2) Mitä kaasua on. (gaseous state) 3) Miten erilaisia yhdisteitä muodostuu samoista aineista. (transformation of matter) 4) Miten aine voi vaihtua eri faasiin. (Change of phases) 5) Makro- ja mikrotason ero. (Macro/micro level) 6) Pienillä atomeillakin on massa. (Mass)	Opetustapa on innostava ja kokonaisuutta hahmottava. Se vaatii paljon aikaa ja sitä käyttäessä tulee keskustella oppilaiden kanssa paljon, jotta vaihtoehtoisia käsityksiä voitaisiin ehkäistä. Opetustapa auttaa luokan yhteishengen parantamisessa.

Ketkä ja milloin	Artikkelin nimi	Mitä on tutkittu?	Miten on tutkittu?	Mitkä ovat tulokset?
Brown, 2003	A Group Approach to Concept Mapping	Artikkeli esittelee Novakilaisen käsitekarttatekniikan opetustapana opettaessa fotosynteesiä. Opiskelijoiden oppimista tutkitaan ennen opetusta ja opetustekniikan käytön jälkeen. Tutkittavat työskentelivät joko yksin tai pienryhmissä.	Tutkimuksessa on käytetty kaksikerroksista diagnoosia (Haslam ja Treagust, 1987). Tutkittavia oli 97 opiskelijaa, joista oli tehty kontrolliryhmä ja kaksi käsitekartoilla opetettavaa ryhmää. Ryhmät olivat samantasoisia alussa. Toisessa käsitekarttatekniikalla opetettavassa ryhmässä työskenneltiin yksin ja toisessa pienryhmissä.	Tutkittavat ryhmät suoriutuivat huomattavasti paremmin kuin kontrolliryhmä jälkitestissä. Pienryhmätyöskentely tuotti parempia tuloksia kuin yksintyöskentely. Mielekkään oppimisen tekniikkana käsitekartat toimivat hyvin opettaessa fotosynteesiä. Vertaisopetus tukee ryhmätyöskentelyssä opiskelijoiden oppimista.
Carlsson, 2002a	Ecological Understanding 1: Ways of experiencing photosynthesis	Tutkimuksessa käsitellään ekologista ymmärtämistä ja ekosysteemin funktion ymmärtämistä. Fotosynteesi on oleellinen osa tätä ymmärtämistä.	Tutkimus tehtiin haastatteluiden avulla, siten että kutakin tutkittavaa haastateltiin kahdesti. Haastattelut nauhoitettiin ja nämä nauhoitukset analysoitiin. Haastateltavina oli 10 opettajaopiskelijaa.	Tutkimuksesta nousi esiin eri tapoja ymmärtää fotosynteesiä. Nämä neljä tasoa ovat seuraavat: 1) Fotosynteesi ymmärretään kulutus ja tuotto -mallina 2) Fotosynteesi ymmärretään transformaation termeillä, tällä tarkoitetaan etenkin energian muuttumisen ymmärtämistä. 3) Ymmärretään fotosynteesi kuten edellä, mutta lisäksi ymmärretään kasvien hengittävän ja olevan omavaraisia. 4) Fotosynteesi ymmärretään kuten edellä, mutta lisäksi ymmärretään fotosynteesin luovan järjestystä ja resursseja. Tällä tarkoitetaan, että kasvit voivat muodostaa yksinkertaisesta hiiliyhdisteestä monimutkaisia. Neljäs taso on näistä korkein. Näitä kaikkia tasoa esiintyi tutkittavilla.

Ketkä ja milloin	Artikkelin nimi	Mitä on tutkittu?	Miten on tutkittu?	Mitkä ovat tulokset?
Carlsson, 2002b	Ecological Understanding 2: Transformation – a key to ecological understanding	Tutkimuksessa käsitellään ekologista ymmärtämistä aineiden muodonmuutoksen kautta.	Tutkimus suoritettiin kuten edellinenkin, katso Carlsson 2002a.	Tutkimuksessa nousi esiin eri tasoja ymmärtää aineiden muodostumista ja energian kulkua. Tämän ymmärtämisen todetaan olevan oleellinen osa myös fotosynteesin ymmärtämistä.
Mikkilä-Erdmann, 2002	Textbook Text as a Tool for Promoting Conceptual Change in Science	Väitöskirjassa tutkitaan oppikirjojen tekstien vaikutusta oppimiseen.	Mikkilä-Erdmann tutki väitöskirjassaan mm. käsitteen muutoksia fotosynteesiprosessiin liittyen 11-13-vuotiailla oppilailla. Käsitteen muutoksia tutkimuksessa tuettiin erilaisilla tekstehtävillä, joiden vaikutusta oppimiseen testattiin alku- ja lopputestien tulosten muutoksella. Kontrolliryhmä ei käyttänyt käsitteen muutosta tukevia tekstejä opiskelussa, vaan niitä he saivat lukeakseen perinteisen fotosynteesistä kertovan tekstin. Tutkimuksen pääpaino oli fotosynteesin biologisella ymmärtämisellä. Kysymykset olivat avoimia, ja niitä oli 11.	Kirjan tekstit vaikuttavat suuresti oppimiseen. Käsitteelliseen muutokseen tähtäävä teksti auttoi oppilaita ymmärtämään paremmin fotosynteesiä suuremmassa mittakaavassa. Perinteinen koulukirjan teksti antoi paremmat oppimistulokset yksityiskohtia kysyttäessä, mutta kokonaisuuden ymmärtäminen jäi perinteisellä oppikirjatekstin lukemisella pieneksi. Tutkimuksesta ilmeni, että oppilaiden oli vaikea yhdistää arkielämän käsityksiä koulussa opittuihin käsityksiin.

Ketkä ja milloin	Artikkelin nimi	Mitä on tutkittu?	Miten on tutkittu?	Mitkä ovat tulokset?
Griffard ja Wandersee, 2001	The Two-tier Instrument on Photosynthesis	Tutkitaan kaksikerroksisen monivalintakysymyslomakkeen luotettavuutta (Haslam ja Treagust, 1987, Treagust, 1986).	Tutkittavan on kuusi opiskelijaa yhdysvaltalaisesta yliopistosta. Tutkimus suoritettiin "ajattele ääneen/haastatteluina, jotka nauhoitettiin ja analysoitiin.	Lomake diagnosoi vaihtoehtoisia käsityksiä fotosynteesistä ja hengityksestä, mutta ei välttämättä pätevästi. Lomaketta arvostellaan siitä, ettei ole selvää miksi tutkittava valitsee juuri kyseisen kohdan. Lomakkeen kysymyksien perustelukohdissa tutkittavat eivät seuraa loogisesti edellisen kysymyksen vastaustaan, vaan pitävät tätä perustelukohtaa itsenäisenä kysymyksenä. Artikkelin mukaan lomaketta ei tulisi käyttää suoraan tutkimukseen.

Ketkä ja milloin	Artikkelin nimi	Mitä on tutkittu?	Miten on tutkittu?	Mitkä ovat tulokset?
Lumpe ja Staver, 1995	Peer Collaboration and Concept Development: Learning about Photosynthesis	Pienryhmätyöskentelyn vaikutus fotosynteesikäsitteen muodostuksessa.	Tutkimuksessa käytetään kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia tekniikoita. Tutkittavina oli 25 opiskelijaa Yhdysvalloista. 18 opiskelijaa työskenteli kolmen hengen ryhmissä ja seitsemän opiskelijaa yksin. Nämä yksin työskentelevät toimivat kontrolliryhmänä ja kaikkia opastettiin samalla lailla. Yksin opiskelevat käyttivät opiskelutuokioihin puolet vähemmän aikaa kuin ryhmät, kaikki opiskelutuokiot nauhoitettiin ja analysoitiin. Ennen varsinaista tutkimusta tehtiin alkututkimus, kuten Haslam ja Treagust (1987), määrittämään koko joukon tasoerot ja luomaan tasapainoisia ryhmiä. Tutkimus koostui yhden ryhmän osalta neljästä 30 minuutin tuokiosta ja neljän viikon kasvin kasvatus projektista. Ensimmäisessä tuokiossa opiskelijoilta kysyttiin kasvien ravinteiden saantiin liittyvistä käsitteistä. Tämä tehtiin PCT:n avulla, kuten Çepni et.al. (2006). Tuokiossa kaksi kysyttiin miten kasvit saavat ravintonsa, tämän jälkeen neuvottiin suunnittelemaan koe, jossa kasvatetaan kasveja neljän viikon ajan niitä tarkkaillen. Tuokiossa kolme opiskelijoiden tuli analysoida kokeensa tuloksia ja annettiin lukea sen hetkinen tieteellinen käsitys liittyen kasvien ravinnonsaantiin. Neljäs osa koostui kokeista joita opiskelijoiden tuli tehdä. Näiden jälkeen opiskelijat tekivät PCT-testin.	Pienryhmätyöskentelyn todetaan tuottavan tieteellisesti oikeampia käsityksiä opiskeltaessa vaikeita käsitteitä. Se auttaa myös muodostamaan vaihtoehtoisista käsityksistä tieteellisesti oikeampia. Artikkelissa kehoitetaan opettajia käyttämään pienryhmätyöskentelyä luokkien kanssa.

Ketkä ja milloin	Artikkelin nimi	Mitä on tutkittu?	Miten on tutkittu?	Mitkä ovat tulokset?
Waheed ja Lucas, 1992	Understanding interrelated topics: photosynthesis at age 14+	Tutkimus käsittelee oppilaiden ymmärtämistä fotosynteesistä eri näkökulmista: ekologinen, biokemiallinen, fysiologinen ja energian muuttumisen näkökulmat.	Tutkittavina oli 74 oppilasta, jotka olivat 14-15 -vuotiaita. Tutkittaville tehtiin neljäosainen tutkimus, jossa jokaisessa osassa oli kolme kysymystä. Näistä 12 kysymyksestä kolme oli koko fotosynteesiin liittyvä, muuten kysymykset oli suunnattu alussa määriteltäisiin fotosynteesin osa-alueisiin. Kysymykset olivat avoimia, ja oppilaille oli opetettu koko aihe ennen tutkimusta.	Harvat oppilaista ymmärsi fotosynteesin energiaan liittyvät käsitteet, etenkin energian muuttuminen oli vaikea ymmärtää. Monet oppilaista ymmärsivät, että fotosynteesissä tapahtuu kaasujen vaihtoa, mutta vain harvat osoittivat pienintäkään ymmärrystä siihen liittyviin prosesseihin. Oppilaat eivät ymmärtäneet, että kasvit hengittävät koko ajan. Oppilailla ei ollut juurikaan ymmärrystä miten aihealueet liittyivät toisiinsa.
Eisen ja Stavy, 1992	Material Cycles in Nature: A New Approach To Teaching Photosynthesis in Junior High School	Esitellä opetustapa fotosynteesin opetukseen	Liittyy aiempaan tutkimukseen (Eisen ja Stavy 1988).	Artikkelin mukaan fotosynteesin perusteiden ymmärtämiseen ei tarvita paljoakaan nippelitietoa, mitä kouluopetuksessa usein on liikaakin. Kemiallisten aineiden kiertokulkukaaviot tulisi olla keskeisiä opetettaessa fotosynteesiä. Kasvien ja eläinten keskinäistä yhtäläisyyttä tulisi korostaa, niiden erojen huomaaminen tulee luonnollisemmin. Fotosynteesi tulisi erottaa selkeästi fotosynteesistä, kuitenkin siten että niiden toiminta yhdessä tulee selväksi. Tämän avulla ymmärrettäisiin tapahtumien olevan rinnakkaisia eikä sekaannusta fotosynteesistä kasvien hengityksenä pääsisi syntymään. Nuorempien lasten kanssa tulisi minimoida termien lukumäärä, esim. energiasta tulisi puhua yleisesti siten, että valo on erittäin tärkeä fotosynteesissä. Fotosynteesin historiaa tulisi myös opettaa ja kertoa kuinka käsitykset ovat muuttuneet aikojen saatossa.

Ketkä ja milloin	Artikkelin nimi	Mitä on tutkittu?	Miten on tutkittu?	Mitkä ovat tulokset?
Amir ja Tamir, 1990	Detailed Analysis of Misconceptions as a Basis for Developing Remedial Instruction: The Case of Photosynthesis	Kuinka suurella osalla opiskelijoista on tietty vaihtoehtoinen käsitys ja mistä se on peräisin? Minkälainen on vaihtoehtoisen käsityksen luonne ja kuinka lujasti opiskelija pitää siitä kiinni?	Tutkimus tehtiin testillä, jossa oli erityyppisiä kysymyksiä, avoimia ja suljettuja. Testi tehtiin 285 opiskelijalle, jotka olivat 11- tai 12-luokalla. Tulokset analysoitiin ensiksi kysymys kerrallaan ja sitten ristiin samaan aiheeseen liittyvät. Tutkittavina olivat aiheet: 1) Rajoittava tekijä 2) Fotosynteesi ja hengitys	Rajoittava tekijä käsite oli opiskelijoille tuttu, mutta heidän oli vaikea soveltaa sitä aiheeseen. Vain noin puolet tutkittavista pystyi soveltamaan tätä fotosynteesissä, kun piti tulkita graafista kuvaajaa ja pohtia siitä mikä mahdollisesti eri vaiheissa rajoittaa prosessia. Fotosynteesiä ja hengitystä tutkittaessa tuli selkeästi ilmi, että suurella osalla opiskelijoista on käsitys ettei kasvit hengitä. Opiskelijat eivät useinkaan ymmärrä fotosynteesiä kompleksisena biokemiallisena prosessina. Artikkelissa suositellaan opetustavoiksi tutkivaa oppimista, käsitekarttoja ja graafisia analyyseja.
Anderson, Sheldon ja DuBay, 1990	The Effects of Instructions on College Nonmajors' Conceptions of Respiration and Photosynthesis	Tutkimuksen tarkoitus on Biologiaa sivuaineenaan yliopistolla lukevien käsityksiä fotosynteesistä ja hengityksestä ja miten nämä käsitykset ovat riippuvia saadusta aiemmasta opetuksesta edellisistä kouluista.	Tutkittavina oli 105 (94 jälkitestissä) yliopistolaista, joista useimmilla oli opiskeltuna ainakin yksi syventävä biologian kurssi. Testissä oli 13 kysymystä, joista osa oli monivalinta ja osa avoimia. Tutkimus oli kaksiosainen: tutkimus ennen aiheen opetusta ja opetuksen jälkeen.	Ennen aiheen opetusta fotosynteesiä eikä hengitystä ymmärretty kemiallisiksi tapahtumiksi, joissa energia muuttuu toiseen muotoon. Tutkittaville oli erityisen vaikeaa muodostaa yksinkertaisia kemiallisia molekyyylimalleja kemiallisen reaktion mukaisesti, esimerkkinä oli vetykloridin muodostuminen vedystä ja kloorista. Opetuksen jälkeen osa tutkittavista näyttäisi saaneen jonkin verran ymmärrystä aiheesta, mutta yleisesti ymmärrys oli varsin heikkoa myös opetuksen jälkeen. Virhekäsityksiä tutkittaville jäi lukuisia. Aiemmin opiskelluilla biologian kursseilla ei näyttänyt olevan juurikaan vaikutusta tuloksiin jälkitestissä.

Ketkä ja milloin	Artikkelin nimi	Mitä on tutkittu?	Miten on tutkittu?	Mitkä ovat tulokset?
Eisen ja Stavy, 1988	Students' Understanding of Photosynthesis	Tutkimuksessa käsiteltiin viittä fotosynteesin keskeistä käsitettä ja niiden vaihtoehtoisia käsityksiä opiskelijoilla, jotka eivät ole lukeneet biologiaa pääaineenaan. Nämä viisi käsitettä ovat: 1) Kasvien hapen vapauttamista, 2) Hengitystä 3) Autotrofiaa 4) Ravintoa 5) Valon energiaa	Tutkimukseen osallistui 188 opiskelijaa, 62 heistä oli biologiaan erikoistuneita (ryhmä 1). 126 opiskelijalla ei ollut yhtään biologian syventävää kurssia opiskeltuna (ryhmä 2). Opiskelijoilta kysyttiin kysymyslomake, jossa oli 14 avointa kysymystä.	Vain puolet ryhmän 2 opiskelijoista ymmärsi, että eläimet kuluttavat happea ja kasvit vapauttavat sitä fotosynteesissä. Ryhmän 1 oppilaista 90 % tiesi tämän faktan. Molempien ryhmien opiskelijoille oli vaikeata ymmärtää voiko eläimet elää maailmassa ilman kasveja, tai miten voidaan sanoa, että aurinko on elämän alku. Valtaosalle opiskelijoista oli vaikeata selittää mitä hengitys on tai miten kasvit hengittävät. Usein fotosynteesin ajateltiin olevan kasvien hengitystä. Ryhmän 2 opiskelijoista vain 40% tiesi kasvien tarvitsevan ilman hiilidioksidia kasvuunsa. Monet pitivät valoenergiaa materiaalina, jota tarvitaan kasvuun. Tämä heijastaa energiakäsitteen vaikeata ymmärrettävyyttä. Monet pitivät happea yhtenä materiaalina, mitä kasvi tarvitsee kasvuunsa. Suuri ongelma opiskelijoille, jotka ymmärsivät kasvin absorboivan hiilidioksidia ympäristöstä, oli käyttää tätä havaintoa hyväkseen pohdittaessa, mistä kasvien lisääntyvä biomassa on peräisin. Käsite tuottaja oli ongelmallinen etenkin ryhmän kaksi opiskelijoille. Energian käsite oli vaikea opiskelijoille. Opiskelijat eivät osanneet yhdistää aurinkoa energian alkuperäksi fotosynteesissä. Ryhmän 2 opiskelijoilla oli vain vähäistä ymmärrystä fotosynteesistä.

Ketkä ja milloin	Artikkelin nimi	Mitä on tutkittu?	Miten on tutkittu?	Mitkä ovat tulokset?
Haslam ja Treagust, 1987	Diagnosing Secondary Students' Misconceptions of Photosynthesis and Respiration in Plants Using a Two-tier Multiple Choice Instrument	Tutkimuksen tarkoitus on osoittaa kaksikerroksisen monivalintakysymyslomakkeen luotettavuus tutkittaessa fotosynteesiä ja hengitystä kasveilla, pohtia tuloksia ja antaa suositukset siitä miten tavalliset opettajat voisivat käyttää tätä tutkittavaa metodologiaa hyväkseen omassa opetuksessaan.	Tutkimukseen osallistui 438 eri vuosiluokilta (13-17-vuotiaita) Länsi-Australiasta. Tutkimus perustuu Treagustin (1986) kuvaamaan metodiin. Lomakkeessa on 13 kysymystä. Kysymykset analysoitiin sukupuolien ja jokaisen ikäryhmän kohdalta erikseen.	Sukupuolien välillä ei löydetty eroja, mutta ikäryhmien välillä erot olivat selkeät. Tutkimuksen perusteella esiinnousseet keskeisimmät vaihtoehtoiset käsitykset tai mihin aiheeseen ne liittyvät: 1) Mitä kaasua kasvit ottavat ilmasta suurina määriä yöllä. 2) Hengitystä tapahtuu koko ajan. 3) Hengitystä tapahtuu jokaisessa kasvin solussa. 4) Energian muuttumisen käsitteeseen liittyvät. 5) Valon merkitys fotosynteesissä. 6) Fotosynteesiä ja hengitystä ei ymmärretä riippuvaisiksi toisistaan, eikä fotosynteesin suhdetta kasvin muihin kemiallisiin/fysikaalisiin prosesseihin käsitellä, esimerkiksi kasvin vesitalous. Artikkelin mukaan biologian opettajat voisivat käyttää tätä artikkelissa esitettyä diagnoosia oppitunneillaan eräänlaisena alkutestinä tai testaamaan jo opetetun asian ymmärrystä.

Ketkä ja milloin	Artikkelin nimi	Mitä on tutkittu?	Miten on tutkittu?	Mitkä ovat tulokset?
Treagust ja Haslam, 1986	Evaluating Secondary Students' Misconceptions of Photosynthesis and Respiration in Plants Using a Two-tier Diagnostic Instrument	Osoittaa osoittaa kaksikerroksisen monivalintakysymyslomakkeen luotettavuus ja esitellä opiskelijoiden ymmärrystä fotosynteesistä ja hengityksestä.	Esitellään tulevan artikkelin tutkimusta (Haslam ja Treagust, 1987)	Testin osat esiteltä paremmin.
Treagust, 1986	Evaluating Students' Misconceptions by Means of Diagnostic Multiple Choice Items	Esitellä kaksikerroksinen monivalintakysymyslomake ja tutkia opiskelijoiden vaihtoehtoisia käsityksiä tietyissä aiheissa: 1) kovalenttisen sidoksen rakenne ja muodostuminen 2) fotosynteesi ja hengitys	Monivalintakysymyslomakkeen kysymykset ovat kaksiosaisia. Ensin tutkittavan täytyy vastata yhteen kysymykseen ja tämän jälkeen perustella monivalinnan avulla vastauksensa. Kysymykset perustuvat aiempiin tutkimuksiin ja Treagustin tekemään tutkimukseen, jossa opiskelijoita haastateltiin, pyydettiin perustelemaan mielipiteitään ja analysoitiin vastaukset. tutkittavat noin 13-17-vuotiaita, ja lukumäärältään heitä on 317.	Tutkimuksen mukaan energian käsitys on oppilailta sekaisin, samoin kaasujen vaihtuvuus prosessin aikana ja valon vaikutus. Hengitystä ei ymmärretä jatkuvaksi prosessiksi.

LIITE 4. Litteroinnit

Kysymys 1

Vastaaja	Kysymys 1	Kysymys 1, perustelu
1	a	Sekä eläimet että kasvit tarvitsevat happea soluhengitykseen. Ne molemmat vapauttavat soluhengityksessä hiilidioksidia, jota kasvit sitten hyödyntävät fotosynteesissä.
2	a	
3	c	eläimet syö kasveja. kasvit tarvitsevat happea.
4	c	eläimet käyttävät kasvien tuottamaa happea ja tuottavat hiilidioksidia jota taas kasvit käyttävät tuottamaan happea
5	c	Kasvit tuottavat hiilidioksidista happea fotosynteesissä. Eläimet hengittävät sisään happea ja ulos hiilidioksidia.
6	c	Kasvit tuottavat sokeria ja happea hiilidioksidin ja veden avulla.
7	a	Kasvit tarvitsevat fotosynteesiin hiilidioksidia sekä soluhengitykseen happea
8	a	kasvit tuottavat hiilidioksidista happea, jota eläimet hengittävät, mutta kasvit käyttävät happea myös omaan toimintaansa
9	c	Kasvit kuluttavat hiilidioksidia fotosynteesissä ja tuottavat näin happea. Soluhengityksessä eläimet kuluttavat happea ja tuottavat hiilidioksidia.
10	a	kasvitkin käyttävät happea.
11	a	
12	a	kasvit tuottavat happea eläimille kuluttaen hiilidioksidia ja käyttäen itsekin happea
13	a	
14	a	Eläimet käyttävät happea ja tuottavat hiilidioksidia, jota kasvit kuluttavat. Kasvit kuitenkin käyttävät fotosynteesissä happea itsekin.
15	a	Kasvit tuottavat happea, jota neitse ja eläimet käyttävät. Eläimet ja kasvit tuottavat hiilidioksidia, jota kasvit käyttävät.
16	c	eläimet kuluttavat happea toimintoihinsa, ja uloshengittävät hiilidioksidia. Kasvit ottavat hiilidioksidin ja käyttävät sitä yhteyttämiseen, jolloin syntyy happea.
17	c	Hhiilidioksidi menee kasveille ja happi eläimille.
18	d	Koska se näyttää järkivimmältä tulokselta.
19	c	Kasvit yhteyttävät ja siitä syntyy happea
20	a	eläimet hengittää happea ja tuottaa hiilidioksidia ja kasvit päinvastoin
21	c	
22	d	emt
23	c	Eläimet tuottavat hiilidioksidia, ja kasvit happea.
24	c	Kasvit yhteyttävät ja synnyttävät happea jota eläimet hengittävät ja samalla päästävät hiilidioksidia ilmaan jota kasvit hyödyntävät.
25	b	emt
26	c	Kasvit tuottavat happea ja kuluttavat hiilidioksidia. Eläimet käyttävät happea ja tuottavat hiilidioksidia uloshengityksessä
27	Puuttuu	
28	c	se vaan on niin
29	c	Kasvit yhteyttävät auringonvalon ja hiilidioksidin avulla ja tuottavat ohessa happea, jota eläimet käyttävät tuottaen hiilidioksidia.

Vastaaja	Kysymys 1	Kysymys 1, perustelu
30	c	kasvit tuottavat happea, jota eläimet hengittävät ilmasta, uloshengittäessään eläimiltä tulee hiilidioksidia, jota kasvit muuttavat hapeksi
31	c	kasvit tuottavat co2 happea ja eläimet hengittävät happea ja tuottavat hiilidioksidia (CO2)
32	c	kasvit tuottavat hapen jota eläimet käyttävät
33	a	kasvit tuottavat happea hiilidioksidista ja valosta sekä lämmöstä, eläimet käyttävät sen ja syntyy hiilidioksidia
34	c	villi veikaus
35	c	Kasvit tuottavat happea ja me eläimet käytämme sitä ja tuotamme hiilidioksidia. siksi kasveille puhuminen "nopeuttaa kasvin kasvua"
36	a	
37	Puuttuu	koska kemia
38	c	se kiertää koko ajan samalla tavalla.
39	a	-
40	c	ne kiertävät
41	c	eläimet tuottavat hiilidioksidia, käyttävät happea ja kasvit tuottavat happea
42	a	Myös kasvit käyttää tuottamaansa happea
43	a	Koska on kyse fotosynteesistä, eli luonnonkiertokulusta ja kaikki nuo kiertävät ympyrää ja ovat vaikutuksissa toisiinsa.
44	c	Kasvit tuottavat hiilidioksidista happea, jota eläimet käyttävät hengitykseen. Hengityksessä taas muodostuu hiilidioksidia ja näin tapahtuma keittää luonnossa.
45	c	kasvit tuottavat haappea
46	c	Eläimien hengityksessä vapautuu hiilidioksidia ja kasvit tuottavat happea jota eläimet käyttävät hengittämiseen.
47	c	
48	a	koska kasveista ja eläimistä tulee hiilidioksidia.
49	c	koska se menee niin
50	a	en tiää
51	a	Se kiertää myös eläinten kautta
52	c	kasvit sitovat hiilidioksiidia josta vapauttavat happea. Eläimet käyttävät happea hengitykseen jonka sivutuloksena on hiilidioksiidia jota kasvit sitten sitovat.
53	b	ei ole varmaa tietoa
54	c	koska kasveista happi siirtyy eläimiin.
55	c	koska se kiertää kasveista ensin sitten luotoon
56	c	koska fotosynteesiin tarvitaan eläimiä ja kasveja.
57	c	kasvit tuottavat happea
58	c	Eläimet ainoastaan tuottavat hiilidioksidia ja kasvit käyttävät sitä. Happea taas käyttävät eläimet ja tuottavat kasvit. Eli fotosynteesissä kasvit käyttävät hiilidioksidia ja tuottavat happea.
59	c	Kasvien fotosynteesissä vapautuu happea, jota eläimet käyttävät. Eläimet puolestaan vapauttavat hengityksessä hiilidioksidia, jota kasvit käyttävät fotosynteesiin.
60	c	Fotosynteesissä vapautuu happea, jota eläimet käyttävät, ja eläimet taas vapauttavat hiilidioksidia, jota kasvit käyttävät fotosynteesissä.

Vastaaja	Kysymys 1	Kysymys 1, perustelu
61	c	Eläimet hengittävät ilmaan hiilidioksidia ja kasvit käyttävät sitä yhteyttämiseen. Yhteyttämisenä syntyy sokeria ja happea ---> eläimet syövät kasveja (ja hengittävät.)
62	c	kasvit tuottavat fotosynteesissä hiilidioksidista ja vedestä happea ja sokeria, eläimet puolestaan soluhengityksessä muuttavat happea ja sokeria hiilidioksidiksi ja vedeksi
63	a	Kasvit käyttävät fotosynteesissä happea, joka tulee (mm.) eläinten ja kasvien soluhengityksestä
64	c	Kasvit tuottavat fotosynteesissä happea, eläimet hengittää sitä->hiilidioksidia ja sama taas
65	c	kasvien fotosynteesi, eläinten soluhengitys
66	c	kasvit tuottavat happea ja eläimistä tulee hiilidioksidia
67	c	eläimet hengittää ulos CO ₂ , jonka avulla kasvit yhteyttää
68	a	kasvit tuottavat happea hiilidioksidin avulla ja toisinpäin.
69	d	Hiilidioksidia vapautuu molempien käyttöön ja kasvien yhteytyksessä vapautuu happea jota eläimet käyttävät
70	c	Kasvit käyttävät hiilidioksidia ja tuottavat happea (fotosynteesi)
71	c	kasveilta lähtee fotosynteesissä happea ja hiilidioksidia eläinten johdosta hengityksen mukana.
72	c	Eläimet vapauttavat soluhengityksessä hiilidioksidia, jota kasvit käyttävät fotosynteesissä -> syntyy happea.
73	c	Kasvit tuottavat happea, eläimet hengittävät ja tuottavat hiilidioksidia
74	c	Kasvit tuottavat happea, eläinten uloshengityksessä vapautuu hiilidioksidia jota kasvit sitovat
75	a	Kasvit ja eläimet käyttävät happea, ja tuottavat hiilidioksidia kasvit tuottavat myös happea
76	c	koska tämä on oikein, kasvit tuottavat happea
77	c	hiilidioksidi ja happi kiertävät ensin kasvien kautta eläimille, eikä molempiin suuntiin
78	Puuttuu	selain ei näytä kuvia
79	c	Kasvit tuottavat fotosynteesissä happea, eläimet käyttävät sitä hengitykseen ja niiden uloshengityksestä tulee hiilidioksidia.
80	c	Kasvit tuottavat yhteyttämisenä hiilidioksidista happea ja sokeria, jota eläimet kuluttavat ja tuottavat samalla hengittäessään/märehtiessään hiilidioksidia
81	Puuttuu	
82	c	no se nyt vaa menee nii
83	a	myös kasvit tarvitsevat happea
84	a	villi veikkaus
85	c	kasvit tuottavat happea ja saavat eläimiltä hiilidioksidia
86	c	eläimet tuottavat hiilidioksidia hengittäessään ja kasvit fotosynteesillä tuottavat ilmasta happea, jonka eläimet taas hyödyntävät.
87	c	kasvit tuottavat happea hiilidioksidista, eläimet hengittävät happea ja tuottavat hiilidioksidia
88	c	kasvit tuottavat fotosynteesissä happea ja eläimet hengittäessään hiilidioksidia
89	c	kasvit kasvavat CO ₂ , tuottavat eläimille happea jotka tuottavat hengityksen sivutuotteena CO ₂ .

Vastaaja	Kysymys 1	Kysymys 1, perustelu
90	c	Eläinten soluhengitykseen tarvitaan happea ja siinä syntyy hiilidioksidia. Kasvien fotosynteesiin tarvitaan hiilidioksidia ja siinä syntyy happea.
91	c	kasvit tuottavat happea ja eläimet hiilidioksidia.
92	a	koska kasvit vapauttavat ja käyttävät O ₂
93	c	Eläimien hengittäessä vapautuu palamistuotteena hiilidioksidia kasvien fotosynteesissä syntyy sivutuotteena happea.
94	a	kasvit ja eläimet tarvitsevat happea, vain kasvit tuottavat sitä.
95	a	Sekä eläimet että kasvit käyttävät O ₂ :ta, mutta vain kasvit tuottavat sitä.
96	c	kasvit tuottavat happea ja eläimet kuluttavat sen hiilidioksidiksi.
97	c	Kasvien fotosynteesissä vapautuu happea, eläinten soluhengityksessä CO ₂ :ta.
98	c	Eläimet tuottavat hiilidioksidia, kasvit käyttävät sen ja vapauttavat happea, jota taas eläimet tarvitsevat, ja tuottavat hiilidioksidia, jne.
99	Puuttuu	kasvit tuottavat happea jotka eliöt sitten kuluttavat.
100	b	koska eläinten hengittäessä happea ilmasta joutuu vähän CO ₂ keuhkoihin. Kasvit kun eivät yöllä pysty yhteyttämään, tarvitsevat happea->soluhengitys
101	c	Kasvit tuottavat CO ₂ :sta happea ja eläimet O ₂ :sta hiilidioksidia
102	c	kasvit käyttävät hiilidioksidia mm. hapen valmistukseen
103	d	eläimien hengityksessä ilmaan siirtyvä CO ₂ muuttuu kasvien fotosynteesissä O ₂ :ksi
104	c	kasvit yhteyttävät hiilidioksidista happea jota ihmiset eläimet hengittävät
105	c	koska kasvit tuottaa happea, jota eläimet tarvitsevat ja eläimistä vapautunut hiilidioksidi taas menee kasveille jotka tuottaa siitä happea jne.
106	c	eläinten hengityksessä vapautuu kasvien tarvitsemää CO ₂ ja kasvit tuottavat eläimille hengitettäväksi happea
107	c	koska kasvit tuottavat happea ja eläimet käyttävät happea jne.
108	a	koska kasvit tuottavat happea
109	c	eläimen uloshengitys: CO ₂ , kasvit käyttävät, sivutuotteena O ₂ , jonka eläimet käyttävät. (soluhengitys eläimet, fotosynteesi kasvit)
110	c	Kasvit tuottavat happea, eläimet kuluttavat sitä tuottaen hiilidioksidia.
111	c	kasvit tuottavat happea, jota eläimet käyttävät. Ne tuottavat hiilidioksidia.
112	c	Eläimistä tulee CO ₂ , kun hengittävät kasvit yhteyttävät ja vapauttavat happea
113	c	eläimet tarvitsevat happea, hengitykseen syntyy hiilidioksidia, kasvit yhteyttävät, syntyy happea
114	c	Eläimet hengittää & ulos tulee CO ₂ , kasvit tuottaa O ₂ , jota eläimet tarvitsevat että elää
115	a	Kasvit tuottavat happea ja hiilidioksidia ilmakehään
116	c	Kasveista tulee happea, jota eläimet tarvitsevat. Happi muuttuu hiilidioksidiksi
117	d	villi veikkaus
118	c	koska eläimet hengittää sisään happea ja puhalttaa ulos hiilidioksidia ja kasvit taas ottaa hiilidioksidia ja vapauttaa happea
119	c	vaikutti oikeimmalta
120	c	eläimistä tulee CO ₂ ja kasvit tuottavat happea
121	c	kasvit tuottaa happea jota eläimet hengittävät ja ->hiilidioksidia

Kysymys 2

Vastaaja	Väite 1	Väite 2	Väite 3	Väite 4
1	Kyllä, koska niiden palaessa syntyy hiilidioksidia ja vettä.	Hiilidioksidi liukenee veteen muodostaen hiilihappoa.	Kasvit käyttävät hiilidioksidia fotosynteesiin, sitä tarvitaan sokerin valmistamiseen.	Se on pienimolekyylinen yhdiste, ja molekyylit liittyvät toisiinsa vain heikoilla dispersiovoimilla.
2	Niiden polttamisen aikana syntyy hiilidioksidia, joka nousee ilmakehään.		Ne sitoo yhteyttämisreaktiossaan hiilidioksidia ja tuottaa tilalle happea.	Hmm, koska O ₂ -molekyyli on kaasu niin hiilikin on kaasumaisessa muodossa? En tiedä!
3	totta. se lisää kasvihuoneilmiötä_>ilmastomuutos	kyllä kai..	ei pidä paikkaansa.	ei ole.
4			imevät itseensä hiilidioksidia tuottaen lisää happea	
5			Kasvit tuottavat hiilidioksidista happea fotosynteesissä.	Hiilidioksidin kiehumispiste on alhainen.
6	Fossiiliset polttoaineet eivät pala täydellisesti ja päästöinä on mm. hiiliyhdisteitä, kuten hiilidioksidia.	Muun muassa. Hiilidioksidipäästöt imeytyvät veteen taivaalla ja happamoittavat veden. Myös erilaisten tehtaiden muut päästöt happamoittavat.	Vähän varmaan, ne sitovat hiilidioksidia yhteyttäessään.	Juu.
7	Fossiiliset polttoaineet sisältävät hiiltä, kun se reagoi hapen kanssa syntyy hiilidioksidia.		Yhteyttävät kasvit käyttävät hiilidioksidia polttoaineena.	Hiilidioksidin kiehumispiste on niin alhainen ilmanpaineeseen ~1bar verrattuna että se pysyy kaasuna normaaliolosuhteissa.
8	kyllä	kyllä	vihreät kasvit muuttavat hiilidioksidia hapeksi, jolloin pitoisuus pienenee	kyllä

Vastaaja	Väite 1	Väite 2	Väite 3	Väite 4
9	Fossiiliset polttoaineet + happi -> Hiilidioksidi + Vesi	Kaasumaiset päästöt sekoittuvat vesihöyryyn ilmassa ja hapettavat sadannan mukana tulevaa vettä.	Kasvit käyttävät hiilidioksidia fotosynteesin lähtöaineena, josta lopulta syntyy happea ja energiaa.	juu...
10	Polttoainereaktiossa vapautuu hiilidioksidia.	Pitää paikkansa.	Toimivat hiilidioksidi nieluina.	Pitää paikkansa.
11	Hiilivetyjen palaessa syntyy hiilidioksidia ja vettä.	Kun hiilidioksidi liukenee veteen, se muodostaa happaman liuoksen.	Kasvit yhteyttävät ja tekevät hiilidioksidista hiilihydraatteja ja happea.	Hiilidioksidi on sen muotoinen molekyyli, että se ei muodosta dipolisidoksia ja se on niin pieni, että dispersiovoimat jäävät pieniksi.
12	fossiilisen polttoaineen palamisen seurauksena syntyy hiilidioksidia	hiilidioksidi kertyy ilmakehään ja tulee sateen mukana alas.	Vihreät kasvit käyttävät hiilidioksidia tuottaessaan happea fotosynteesissä.	sitä on ilmassakin kaasuna.
13	Fossiiliset polttoaineet sisältävät hiiltä jotka reagoivat hapen kanssa.	Näinhän se taitaa olla	Yhteyttävät kasvit toimivat hiilidioksidinieluina	Koska sen kiehumispiste on niin hauska
14	Kyllä, koska fossiilisten polttoaineiden palaessa irtaava hiiltä, jota palamiseen tarvittu happi sitoo.	Vesi ja hiilidioksidi tuottavat hiilihappoa, joka aiheuttaa sadeveden happamuutta.	Ei merkittävästi. Kasvit kuluttavat suurimman osan tuottamastaan hapesta fotosynteesissä.	Pitää paikkansa. Hiilidioksidin kiehumispiste on -57 celsiusta.
15	Fossiiliset polttoaineet ovat hiilipohjaisia, joten kun niitä poltetaan syntyy hiilidioksidia.	Hiilidioksidi ja vesi reagoivat muodostaen happaman sateen.	Vihreät kasvit sitovat ilmakehästä hiilidioksidia fotosynteesin käyttöaineeksi, joten ne vähentävät ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta.	Hiilidioksidi on normaalioloissa kaasu, koska sen kiehumispiste on niin alhainen.
16	Palamisessa syntyy hiilidioksidia.	Hiilidioksidi ja muut ilmassa olevat aineet sitoutuivat veteen ja satavat alas.	Vihreiden kasvien viherhiukkaset muuntavat fotosynteesissä hiilidioksidia hapeksi, mutta hiilidioksidia syntyy koko ajan lisää samalla.	On.

Vastaaja	Väite 1	Väite 2	Väite 3	Väite 4
17	Hiilidioksidia vapautuu kun polttoaineita potetaan kemiallisessa reaktiossa.	Väärin, se johtuu saasteista pääosin. Ei voida sanoa että se on vain hiilidioksin syytä vaikka se hieman vaikuttaakin siihen.	Oikein. Fotosynteesillä hiilidioksidista tehdään happea ja vain vihreät kasvit kykenevät tähän.	Oikein, se ei jähmety eikä ole nestemuodossa, jäätymispiste on hyvin alhainen.
18	Tuota...	Tuota...	Tuota...	Tuota...
19	Niiden palaessa syntyy hiilidioksidia	HAPPOSÄDE	Koska kasvit yhteyttävät, jolloin hiilidioksidista tulee happea	Koska sen kiehumislämpötila on alhainen
20				
21				
22			kun kasvit sitoo itseensä hiilidioksidia niin se vähenee ilmakehässä	
23	Kyllä, saasteet nousevat sinne.	Ei, se johtuu rikistä.	Kyllä, ne tuottavat happea hiilidioksidin ja energian avulla.	Kyllä.
24	Kyllä	Eikö se johdu pH arvosta	kyllä	kyllä
25	ne on joskus muinaisesti sitoneut itseensä hiilidioksidia:0???		ku ne kasvit sitoo itteensä sitä hiilidioksidia ni se vähenee ilmakehästä??	en tiedä
26	Fossiilisten polttoaineiden palaessa syntyy runsaasti ilmalle haitallisia kaasuja, koska ne ovat monia tuhansia vuosia vanhoja.	sadepisarat tiivistyvät hiilidioksidihukkaste n ympärille joka saa pisarat happamiksi.	Kasvit tarvitsevat hiilidioksidia elääkseen ja kuluttavat tätä.	jepa jee
27	metsien hävitys lisää päästöä	ei	kyllä	
28				

Vastaaja	Väite 1	Väite 2	Väite 3	Väite 4
29	Fossiiliset polttoaineet ovat hiilipohjaisia ja joiden hiili "vapautuu" poltettaessa.		Vihreät kasvit kuluttavat ilmakehän hiilidioksidia tuottaen happea.	Koska hiilidioksidin höyrystymispiste on -57C
30	energiantuotanto polttoaineilla perustuu raaka-aineen polttamiseen, poltettaessa syntyy savukaasuja ja hiilidioksidia	vesi sitoo hiilidioksidia itseensä	muuttavat sitä hapeksi	johtuen ilmanpaineesta
31	hiilen eri muotojen polttaminen lisää hiilidioksidipitoisuutta ilmassa	fossiilisten polttoaineiden käyttäminen nostaa ilman hiilidioksidipitoisuutta ja liittyy sadeveteen	kasvit tekevät hiilidioksidista happea fotosynteesin avulla	
32	fossiilinen polttoaine ei uusiudu vaan kertyy ilmakehään		vihreät kasvit keräävät hiilidioksidia ravinnokseen	se on nestettä viileämmissä olosuhteissa
33				
34	koska al gore sanoo niin ei kuule ole mitään ideaa		koska ne luovat hapea	
35	yes	onko sadepisara hapan? yesyesyes	yes	yes
36	niiden palamistuotteena syntyy hiilidioksidia	?	kyllä,sillä tuottavat hiilidioksidista happea	?
37	en usko	paskapuhetta	nii	älä ny jaksa
38	en tiedä	en tiedä	en tiedä	en tiedä
39	Päästöt menevät suoraan sinne.	-	Kyllä vain !	-
40	väärin se vähentää	joo	kyllä sillä ne sen avulla synnyttävät happea	joo

Vastaaja	Väite 1	Väite 2	Väite 3	Väite 4
41	polttoaineet jättävät pitkäkestoista hiilidioksidia ilmakehään	pilvet muodostuvat osittain hiilidioksidista ja sadepisarat sisältävät sitä	kasvit tuottavat happea joka korjaa hiilidioksidin	niimpä
42	-	-	Vihreissä kasveissa tapahtuu fotosynteesi.	-
43	En osaa sanoa.	Totta, koska hiilidioksidi haihtuu ilmaan ja pilviin ja palautuu sateena maan päälle.	Väärin, koska kasvit tuottavat hiilidioksidia, en tajua miten ne voisivat siis vähentää hiilidioksidipitoisuutta.	On, koska se on kevyempää kuin neste ja kiinteäaine.
44			ne tuottavat siitä veden ja aurinkoenergian avulla happea.	
45	polttoaineet sisältävät hiilidioksidia	joo	joo	sitä ei voi nähdä
46	Jotain haittaa siitä on mutta en ole varma mitä ne erittävät ilmakehään.	Ei tietoa. Veikkaan, että ilman yleisistä saasteista.	Ne tuottavat ainakin happea. Ei tietoa vähentääkö se sitten hiilidioksidia.	Luulen näin.
47	Niiden pitoisuudet ovat korkeita.	Hiilidioksidia tulee sadeveteen ja sen avulla siitä tulee hapanta.	Väriaineet.	Saattaapi olla.
48	totta	aivan	juuu olen kuullut asiasta	kyllä, mutta jos sitä sekottaa johonki niin se pamahtaa
49	jeps	jeps	jeps	jeps
50	en tiedä	en tiedä	en tiedä	-
51	Palaessa se lisää hiilidioksidipitoisuutta	Jaa-a	Eivät vähennä, ne vain lisäävät happea jolloin hiilidioksidin prosentuaalinen määrä tosin vähenee.	on, alhaisessa tai korkeassa lämpötilassa se vasta muuttuu

Vastaaja	Väite 1	Väite 2	Väite 3	Väite 4
52	Ne palavat ilmakehään, eivätkä tule takaisin.	Kyllä, koska hiilidioksidi sitoo vaan happamia juttuja	ne sitovat hiilidioksidia	CO2 = kaasumuoto koska sitä ei voi nähdä
53	ne eivät poistu ilmakehästä	koska se sitoo happamia aineita	yhteyttämisen avulla	kyllä--
54	Fossiiliset polttoaineet on peräisin hiilikerrostumista, maaöljystä ja maakaasusta, jotka ovat syntyneet syvälle maakerrosten väliin muinoin kuolleiden kasvien ja eläinten jäännöksistä Fossiiliset polttoaineet sisältävät hiiltä ja sen yhdisteitä, pääosin	Sadeveden happamuus johtuu osittain hiilidioksidista, mutta sadevettä happamoittavat lisäksi rikin ja typen oksidit, joista pääsee ilmakehään mm. vulkaanisen toiminnan seurauksena sekä fossiilisia polttoaineita poltettaessa ja teollisista prosesseista. Sa	joo, koska kasvit tarvitsevat hiilidioksidia yhteyttämiseen	kyllä

Vastaaja	Väite 1	Väite 2	Väite 3	Väite 4
55	Fossiiliset polttoaineet on peräisin hiilikerrostumista, maaöljystä ja maakaasusta, jotka ovat syntyneet syvälle maakerrosten väliin muinoin kuolleiden kasvien ja eläinten jäännöksistä Fossiiliset polttoaineet sisältävät hiiltä ja sen yhdisteitä, pääosin	Sadeveden happamuus johtuu osittain hiilidioksidista, mutta sadevettä happamoittavat lisäksi rikin ja typen oksidit, joista pääsee ilmakehään mm. vulkaanisen toiminnan seurauksena sekä fossiilisia polttoaineita poltettaessa ja teollisista prosesseista. Sa	Vihreät kasvit käyttävät hiilidioksidia yhteyttämisreaktioon, joten ne kuluttavat ilmasta hiilidioksidia, mutta hiilen kiertokulusta johtuen ilmakehän CO2-pitoisuus ei varsinaisesti vähene vaan pysyy jokseenkin vakiona. Tosin viime vuosisadan aikana ilman	
56	Kyllä, koska se estää lämmön pääsemistä avaruuteen	”kyllä, koska happamuus johtuu mm. teollisuusalueiden saasteista	Kyllä, koska ne tarvitsevat fotosynteesiin hiilidioksidia	Kyllä nöin on, sillä jotkin eliöistä tuottavat hiilidioksidia ns. ulospäin hengityksessä
57	hiilidioksidi on palamistuote	hiilidioksidi liukenee vetee	käyttävät sitä hengittämiseen	hiili liittyy happeen
58	Koska fossiiliset polttoaineet sisältävät hiiltä syntyy niitä poltettaessa hiilidoksidia.	Hiilidioksidi on heikko happo ja protolysoituu.	Kyllä koska käyttävät hiilidioksia yhteyttämiseen.	Kyllä sillä sen kiehumispiste on -57 Celsius-astetta.

Vastaaja	Väite 1	Väite 2	Väite 3	Väite 4
59	koska fossiiliset polttoaineet sisältävät hiiltä, ja niiden palamistuote on siis hiilidioksidi.	koska happamoittavia päästöjä aiheuttavat pääasiassa fossiiliset polttoaineet, jotka sisältävät hiilidioksidia.	koska vihreät kasvit käyttävät ilmakehän hiilidioksidia yhteyttämiseen.	koska sen kehumuspiste on -57 celsius-astetta.
60	koska fossiiliset polttoaineet sisältävät hiiltä, niitä poltettaessa syntyy hiilidioksidia.	koska	koska vihreät kasvit käyttävät ilmakehän hiilidioksidia yhteyttämiseen.	koska hiilidioksidin kiehumispiste on -57 celsiusastetta.
61	Koska fossiilisia polttoaineita täytyy polttaa, syntyy palotuotteena hiilidioksidia (esim. kivihiili on aika lailla puhdasta hiiltä--> $C + O_2 = CO_2$)		Vihreät kasvit käyttävät hiilidioksidia ilmasta yhteyttämiseen, joten kyllä voidaan sanoa että näin on.	
62	koska fossiilisten polttoaineiden palamistuotteina syntyy hiilidioksidia		vihreät kasvit käyttävät ilmakehän hiilidioksidia sokerin tuotantoon	hiilidioksidin kiehumispiste on -57
63	Palaessaan fossiilisista polttoaineista vapautuu hiilidioksidia, sillä ne kaikki koostuvat hiilestä ja muista aineista. Hiilen palaessa syntyy hiilidioksidia.	Nyt on kyllä pakko myöntää, etten muista vastausta :((	Vihreät kasvit käyttävät fotosynteesissään hiilidioksidia, joten ne vähentävät ilman hiilidioksidipitoisuutta.	Hiilidioksidi syntyy, kun hiili ja happi yhtyvät palamisessa. Palaminen vaatii korkean lämpötilan, joten palamistuotteet ovat kaasuja. Myös happi on normaaliolosuhteissa kaasua, joten sitä paljon sisältävä hiilidioksidikin on. Tämä oli kohtuullisen villi
64	hiiltä poltetaan, palaminen tuottaa hiilidioksidia	Limuunkin laitetaan hiilihappoa ja siitä tulee hapanta!	Lehtivihreä sitoo hiilidioksidia	
65	palamisen tuote on hiilidioksidi		vihreät kasvit sitovat hiilidioksidia	
66	niiden palaessa ilmakehään vapautuu hiilidioksidia	en tiedä	kasvit tuottavat happea	ei sitä muuten vapautuisi ilmakehään

Vastaaja	Väite 1	Väite 2	Väite 3	Väite 4
67	F. polttoaineita poltettaessa syntyy hiilidioksidia, mikä lisää hiilidioksidin pitoisuutta.		Kasvit yhteyttävät ja muuttavat hiilidioksidit hapeksi	näin nyt vaan on
68	Ei tietoa.	Ei tietoa.	Koska ne käyttävät hiilidioksidia hapen tuottamiseen.	Ei tietoa.
69	Koska niistä tulee hirveä määrä saasteita.		Koska kasvit itse käyttävät sitä	Kyllä on koska sitä ei näe
70	fossiiliset polttoaineet vapauttavat käytössä hiilidioksidia	en osaa vastata	vihreät kasvit yhteyttävät ja tarvitsevat yhteyttämisessään hiilidioksidia	en osaa perustella
71	lisää joo, niistä vapautuu hiilidioksidia niin siten.	Hiilidioksidin mukana tulee myrkkyjä, joten sade happanee.	niistä syntyy hiilidioksidia fotosynteesissä.	Fotosynteesin johossa tuleva on kaasua
72	Ne saastuttavat ja näin lisäävät hiilidioksidin määrää.	-	Eivät suoraan vähennä, mutta tuottavat happea tilalle.	Kyllä, sillä sitä on ilmakehässä.
73			Kyllä, koska ne käyttävät hiilidioksidia yhteyttämisessä - > happi	
74	Kyllä, niitä poltetaan jonka seurauksena hiilidioksidia päätyy ilmakehään	Ei, se johtuu muista ilmakehän kaasuista jotka sitoutuvat sateeseen	Kyllä ne sitovat hiilidioksidia	Kyllä, sitä esiintyy ilmakehässä eikä se siellä kiinteänäkään pysy. Limujen hiilidioksidit.
75	kun niitä poltetaan vapautuu niissä oleva hiili ilmakehään	koska en tiedä	ne käyttävät hiilidioksidia yhteyttämisessä	sillä ilma sisältää hiilidioksidia kaasuna
76	Koska fossiilisista polttoaineista vapautuu kemiallisia aineita ilmakehään	koska hiilidioksidia pääsee sekoittumaan ilmakehässä sateeseen	koska kasvit ylläpitävät ilmakehän puhtautta	kyllä
77	oikein, koska niiden käyttö tuottaa haitallisia aineita ilmakehään .	kyllä, koska sadevesi kulkee ilmassa hiilidioksidin läpi.	oikein, koska kasvit tuottavat happea	kyllä, koska se on ilmakehässä kaasun muodossa.

Vastaaja	Väite 1	Väite 2	Väite 3	Väite 4
78	Oikein	Oikein	Oikein	Oikein
79	Siinä vapautuu hiilidioksidia.	Hiilidioksidi on hapanta.	Vihreät kasvit yhteyttävät.	Siinä on CO.
80	Fossiilisten polttoaineiden polttaminen tuottaa hiilidioksidia, joka reagoidessaan oksidi-ionin kanssa muuttaa ne happiatomiksi		Kasvit tuottavat yhteyttämällä hiilidioksidista happea, sekä muuttavat hiilin sokeriksi	Hiilidioksidilla on pieni vetovoima hiileen, vetysidos heikoista sidoksista
81		ilmakehässä on hiilidioksidia, joten sieltä tuleva sadevesi sisältää hiilidioksidia.	ne sitovat hiilidioksidia itseensä eli ovat "hiilinieluja"	sen kiehumispiste on niin korkea.
82	joo, kosk niis on hiilidioksidii	hiilidioksidi imeytyy sadevetee	ku ne käyttää sitä hiilidioksidii	joo
83	Fossiiliset polttoaineet muodostuvat kuolleista eläimistä, joten ne sisältävät paljon hiiltä		kyllä, ne käyttävät co2 fotosynteesissä, jossa yksi jäteaine on happi	kyllä, sillä sen kiehumispiste on erittäin matala
84	No jos niihi on jääny jotain ihme aineit äh en tiiä..	just... öö oisko ku se CO2 sekottuu sinne vetee nii se happamoituu	ku ne yhteyttäes saa aikaan sitä happea ni sit hiilidioksidi vähentyy?	En oo kyllä nesteenkää nähny. enpä tiiä/muista
85	joo, en osaa perustella	ei	ei	kyllä, höyryä tjn.
86				
87				
88	totta. hiilidioksidia otetaan maapallon "varastosta".	Epätosi. Se johtuu muista ilmassa olevista myrkyistä.	totta ne yhteyttävät	totta
89	fossiiliset polttoaineet ovat muodostuneet hiilestä		kasvit käyttävät CO2 "rakennuspalikoina"	oksidi päätteestä voi päätellä sen olevan kaasu.
90			vihreät kasvit käyttävät fotosynteesissä fotosynteesissä hiilidioksidia	

Vastaaja	Väite 1	Väite 2	Väite 3	Väite 4
91	Polttoaineissa on hiiltä ja happea kun se palaa syntyy hiilidioksidia	hiilidioksidi on hapanta.	ne käyttävät hiilidioksidia "polttoaineenaan"	CO2 molekyylit liikkuvat vapaasti normaaliolosuhteissa.
92		$H_2O + CO_2(g) \rightleftharpoons H_2CO_3$	koska ne käyttävät CO2-kaasu fotosynteesiin.	CO2(g)
93	Fossiilisissa polttoaineissa on hiiltä. Palamistuotteena syntyy CO2.	Sadeveteen sitoutuessaan CO2 saa H2O:n luovuttamaan protonin.	Fotosynteesiin tarvitaan hiilidioksidia, jonka ne sitovat ilmasta.	
94	Fossiilisissa polttoaineissa on hiiltä ja palamisreaktiossa reagoidaan hapen kanssa, jolloin syntyy hiilidioksidia.	Hiilidioksidi toimii vedessä emäksenä, syntyy happamia oksoniumioneja.	Fotosynteesiin tarvitaan hiilidioksidia, ja kasvien tuottamaa happea on enemmän kuin CO2:ta.	Sivuutan tämän täysin triviaalina.
95	Fossiilisissa polttoaineissa on hiiltä, eli palaessa syntyy CO2:ta.	CO2 toimii emäksenä ja saa veden luovuttamaan protonin.	Fotosynteesissä kuluu CO2:ta ja syntyy O2:ta	
96	Fossiilisiin polttoaineisiin on sitoutunut hiilidioksidia ja niiden käytössä sitä vapautuu.		Ne muuttavat sitä fotosynteesillä hapeksi.	Tietyissä lämpötilassa hiilidioksidi on kaasu ja se pätee normaaliolosuhteissa.
97	Fossiiliset polttoaineet sisältävät hiiltä ja niiden palaessa vapautuu CO2:ta.	CO2 sekoittuu vesihöyryyn ja siitä tulee hapanta.	kasvit käyttävät yhteyttäessään CO2:ta ja vapauttavat happea	lämpötilan mukaan olomuoto
98	Fossiilisissa polttoaineissa on hiiltä ja sen palessa syntyy hiilidioksidia.		Vihreät kasvit tarvitsevat elääkseen hiilidioksidia, joten käyttävät sitä ja vähentävät siten hiilidioksidipitoisuutta ilmakehässä.	
99				
100	kyllä, syntyy NOx, CO2	happi muuttaa veden pH-arvoa	viherkasvit käyttävät hiilidioksidia yhteyttämiseen	kyllä, CO2 molekyylillä on pieni eikä ole vahvoja sidoksia.
101	fossiilisten polttoaineiden käyttö muuttaa hiilen CO2:ksi		Kasvit muuttavat soluhengityksessä CO2->O2	Jos se olisi jotain muuta kuin kaasua niin tuskin sitä ilmassa olisi...

Vastaaja	Väite 1	Väite 2	Väite 3	Väite 4
102	fossiilisten polttoaineiden käyttö tuottaa CO2	hiilidioksidi sitoutuu veteen sen höyrystyessä ja sataa alas	kasvit käyttävät hiilidioksidia yhteyttämiseen	näin on!
103	hiiliyhdisteet palavat hapen ansiosta jolloin vapautuu co2	-	ovat ns. hiilinieluja.	sen jäätyminen ja höyrystymispisteet ovat normaaliolosuhteiden ulkopuolella
104	f. polttoaineiden palamistuotteena mm. hiilidioksidi (kyllä)	-	fotosynteesi->sitovat hiilidioksidia ilmasta tuottaen mm. happea	olomuoto riippuu paineesta, lämpötilasta ja tilavuudesta.
105	joo. Esim öljy sillä siitä tehdään bensaa ja palaessa bensasta nousee päästöjä ilmakehään	mikä happamuus? normi vettähän se on	no joo. Sademetsien tuhoaminen edesauttaa ilmakehän kuormittumista, mikä ei ole hyvä.	kyllä. se on kevyempää kuin ilma ja se on kaasua.
106	niiden polttamisessa vapautuu niin paljon hiilidioksidia.		kasvit tarvitsevat itse hiilidioksidia käyttöönsä	sitä syntyy hengitettäessä
107	lisää koska siinä on sellaisia aineita	en tiedä	kyllä, koska kasvit tuottavat happea	on, en tiedä miksi
108	koska se vaan lisää	veden&hiilidioksidin reaktiossa vedestä tulee happama.	koska ne tarvitsee sitä itse	koska se on.
109	Niiden käytössä ilmaan vapautuu suuri määrä CO2, kasvit eivät ehdi/pysty yhteyttämään niin nopeasti...	Sateessa ilmassa oleva CO2 tulee vetenä alas.	Yhteyttämässä käytetään hiilidioksidia	tosi on hiili+ 2 happiatomia
110	kun niitä polttaa niin vapautuu hiilidioksidia	hiilidioksidi nousee maasta pilviin	ne tuottavat happea	muuten sitä näkyisi kaikkialla
111	kyllä koska niiden poltossa vapauttaa hiilidioksidia ilmakehään		kyllä, koska ne sitovat hiilidioksidia fotosynteesissä.	kyllä, koska ilmakehässä sitä on paljon, eikä sitä näe.
112	Kyllä, koska se on fossiilista ja vaarallista	ei, se johtuu haposta (happosateet)	Ei ne parantavat, koska vapauttavat happea	kyllä, koska hiilidioksidia on ilmassa.
113	saastuttaa	varmasti...	ne käyttää hiilidioksidia yhteyttämiseen	niin onki, ku ilmassa on sitä ja muitaki kaasuja...

Vastaaja	Väite 1	Väite 2	Väite 3	Väite 4
114	niis on vaa sitä hiilidioksidia	jaa'a	no ei ne vähennä mut tuottaa ainakin lisää happea	no joo, kun sitä on ilmassa
115				
116	Ei, koska fossiileista ei tuu hiilid.	joojoo, hiilidioksi on tosi hapan	kyllä, kasveista tulee happea	kyllä, se on kaasu
117	en osaa	en osaa	en osaa	en osaa
118	näin on	luulen niin koska pisarat menee hiilidioksidin läpi	ei varmaan oo totta	totta on
119			kyllä, enpä osaa perustella... eikö ne jotenkin sido hiilidioksidia itseensä	on kai?
120	Ei lisää. Ne edistää tulevaisuuden saasteiden vähenemistä.	Sadevesi on makeaa	Ne lisäävät sillä kasvit tuottavat hiilidioksidii	kyllä
121	Siitä syntyy kaasupäästöjä	Se johtuu kaasuista ja saasteista	ne tuottaa enemmän happea	