

Luokanopettajaksi opiskelevien käsitykset kasvihuoneilmästä ja ilmiön opettaminen maantieteessä

ILKKA RATINEN¹

Opettajankoulutuslaitos, Jyväskylän yliopisto

Ilmastonmuutos on eniten mediassa esillä oleva globaali ympäristöuhka. Tämän hetken tieteellisen näkemyksen mukaan maapallon keskilämpötila nousee vuoteen 2100 mennessä 1,1–6,4 astetta verrattuna vuosien 1980–1999 keskilämpötilaan (Climate change 2007). Näyttääkin siltä, että ihmiskunnan täytyy keksiä niin globaaleja kuin paikallisia-kin ratkaisuja ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja siihen sopeutumiseksi. Kansakuntien suhtautuminen yhteisiin ilmastotalkoiisiin vaihtelee: jotkin maat ovat mukana pakosta, toiset taas pakoilevat vastuuta. Yksilötasolla monisyisen ilmastonmuutoksen ymmärtäminen vaikuttaa merkittävästi siihen, miten ilmiöön ja sen hillitsemiseen tähtääviin toimiin suhtaudutaan. Luonnontieteen opetus vaikuttaa merkittävästi tulevien päättäjien kykyihin tehdä oikeansuuntaisia ja kauaskantoisia päätöksiä (Ekborg & Areskoug 2006).

Opettaessani ympäristö- ja luonnontieteitä luokanopettajaksi opiskeleville olen havainnut luolestuttavia puutteita heidän tiedoissaan, esimerkiksi yhteyttämisen ja ekologisten kiertokulkujen ymmärtämisessä. Ilmastonmuutoksen ajankohtaisuuden ja monisyisen luonteen vuoksi kiinnostuin siitä, kuinka lukiossa hyvin menestyneet luokanopettajaopiskelijat ymmärtävät ilmiön. Erityisen tärkeää opiskelijoiden tietojen selvittäminen on siksi, että he opettavat ilmaston lämpenemiseen liittyviä asenteita ja tiedollisia valmiuksia alakoululaisille. Tässä kirjoituksessa tarkastelen kasvihuoneilmiön käsitteellistymistä luokanopettajaksi opiskelevien tieteellisessä tiedossa. Pohdin keräämäni kirjallisen aineiston pohjalta, miten luokanopettajaopiskelijat ymmärtävät kasvihuoneilmiön ja ilmastonmuutoksen. Esitän lopuksi keinoja, joilla ilmastonmuutosta voitaisiin opettaa maantieteessä. Luokanopettajaopiskelijoita tutkimalla saan käsityksen siitä, kuinka he ovat yleissivistävässä opetuksessa ymmärtäneet kasvihuoneilmiön ja siihen liittyvät luonnontieteelliset prosessit. Tätä tietoa voin hyödyntää jatkossa opettajankoulutuksen (luonnon)maantieteen opetuksen kehittämisessä ja ympäristö- ja luonnontieteen

opettamisessa, jossa maantiede on integroituna kokonaisuutena muiden luonnontieteiden kanssa. Uusien käsitteiden sijasta toivon yleissivistävän opetuksen keskittyvän prosessien ymmärtämiseen.

Kasvihuoneilmiö ja ilmastonmuutos pedagogisissa tutkimuksissa

Ilmastonmuutoksesta ja kasvihuoneilmästä tiedetään, mutta käsitteet hahmotetaan puutteellisesti ja jopa väärin (Rickinson 2001: 207). Ihmiset harvoin pitävät kasvihuoneilmiötä luonnollisena ja nykyisen kaltaiselle elämälle välttämättömänä ilmiönä, vaan mieltävät sen ympäristöongelmaksi.

Useat tutkimukset (taulukko 1) osoittavat oppilaiden ja opiskelijoiden pitävän otsonikatoa ilmastonmuutoksen aiheuttajana. Heidän käsityksenä mukaan otsoniaukosta pääsee maanpinnalle enemmän auringon säteilyenergiaa, mutta lisääntynyt lämpö ei löydä ”aukkoja” poistuakseen ilmakehästä. Oppilaat voivat esimerkiksi ajatella, että kasvihuonekaasut absorboivat otsoniaukosta tulevaa ja lämpösäteilyksi muuttunutta UV-säteilyä (Nevanpää 2005). Otsonikadon ja kasvihuoneilmiön kausaalisessa yhdistämisessä pääongelma on se, että pitkäaaltoisen infrapunasäteilyn (IR) ja lyhytaaltoisen ultraviolettisäteilyn (UV) erot tunnetaan huonosti. Säteily myös saatetaan sekoittaa lämpöenergiaan (Boyes & Stanisstreet 1997). Lisäksi ajatellaan, että ilmansaasteiden kerääntyminen ilmakehään estää lämmön kulkeutumista avaruuteen kasvihuoneen katon tai peiton tavoin (Koulaidis & Christidou 1999). Oppilaat eivät osaa nimetä varsinaisia kasvihuonekaasuja (Andersson & Wallin 2000), mutta toisaalta CFC-yhdisteitä ei mielletä lämpösäteilyä absorboiviksi kasvihuonekaasuiksi. Sen sijaan luullaan, että ne lämmittävät ilmastoa otsonikerrosta tuhoavan mekanismin kautta.

Ympäristökäsitteiden kannalta ilmastonmuutoksen ymmärtämisessä on kiintoisaa se, että oppilaat liittävät lämpenemisen yksioikoisesti ihmisen arkisen toiminnan seuraamuksiin. Tällöin muun muassa roskaamista voidaan pitää ilmastonmuutoksen aiheuttajana (Nevanpää 2005:

¹ E-mail: <iratine@edu.jyu.fi>

Ilmaston lämpeneminen ei ole säteilytasapainon muutos.	Andersson & Wallin 2000; Nevanpää 2005	
Ilmastonmuutos liittyy kausaalisuhteina otsonikatoon.	Boyes & Stanisstreet 1997; Jeffries ym. 2001; Papadimitriou 2004; Nevanpää 2005; Ekborg & Areskoug 2006	
Ilmastonmuutos sekoittuu muihin ilmiöihin.	Boyes & Stanisstreet 1997; Andersson & Wallin 2000	
Kaikki ympäristölle haitalliset toiminnot lämmittävät ilmastoa.	Fisher 1998; Papadimitriou 2004; Nevanpää 2005	
Kasvihuonekaasuihin liittyvät tiedot ovat virheelliset tai puutteelliset.	Fisher 1998; Andersson & Wallin 2000; Papadimitriou 2004; Ekborg & Areskoug 2006	
Ilmastonmuutoksen laajaa ekologista ja yhteiskunnallista merkitystä ei ymmärretä.	Fisher 1998; Andersson & Wallin 2000; Nevanpää 2005	Taulukko 1. Oppilaiden ja opiskelijoiden käsityksiä kasvihuoneilmästä ja ilmaston lämpenemisestä.

149). Ympäristökasvatuksella voisikin pyrkiä vaikuttamaan oppilaiden loogisiin ajatusketjuihin, jotka voivat olla luonnontieteellisesti virheellisiä.

Aikaisemmat tutkimukset osoittavat maantieteen opettamisen kannalta kiintoisasti, etteivät oppilaat ole käsitteellistäneet oikein ilmakehän kerrosten ja prosessien merkitystä. Esimerkiksi kasvatustieteilijä James Ryen ym. (1997) tutkimuksessa osa yläkouluikäisistä liitti kasvihuonekaasut UV-säteilyn absorboitumiseen. Lisäksi oppilaat tunnistavat jäätiköiden sulamisen ja merenpinnan nousun yleisimmäksi ilmaston lämpenemisen seuraamukseksi (Boyes & Stanisstreet 1993; Fisher 1998; Koulaidis & Christidou 1999; Nevanpää 2005). Luonnontieteen pedagogien Björn Anderssonin ja Anita Wallinin (2000) mukaan ilmastomuutoksen laajempi yhteiskunnallinen ja ekologinen merkitys sisäistetään kuitenkin puutteellisesti. Oppilaat eivät näytä käsittävän ilmaston lämpenemistä maapallon säteilytasapainon muutoksesta (Andersson & Wallin 2000; Nevanpää 2005).

Kasvihuoneilmänsä osatekijöiden avaaminen

Koska kasvihuoneilmänsä ja ilmaston lämpenemisen ymmärtäminen on usein kiinni puutteellisesta sähkömagneettisen säteilyn tuntemuksesta, avaan lyhyesti tulkintani käsitteellisenä kehiksenä käyttämiäni aalto- ja fotonimallia. Kappale, kuten Aurinko tai Maa, säteilee kaikkia aallonpituuksia, mutta niiden suhteelliset osuudet riippuvat kappaleen lämpötilasta. Auringosta säteilee Maan ilmakehään kaikkia aallonpituuksia, mutta vain osa pää-

see läpi. Esimerkiksi lyhytaaltoiset röntgen- ja gammasäteilyt pysähtyvät ilmakehän yläosiin reagoidessaan happi- ja typpimolekyylien kanssa. Näiden reaktioiden ansiosta syntyy muun muassa otsonia, joka puolestaan absorboi tehokkaasti ultraviolettisäteilyä.

Fotonimalli kuvaa säteilyn käyttäytymistä erilaisten hiukkasten kanssa. Lisäksi sillä voidaan kuvata lämpösäteilyn vaikutuksia yhdisteiden välisiin sidoksiin. Mallin mukaan sähkömagneettinen säteily koostuu fotoneista eli massattomista valohiukkasista, jotka kuljettavat mukanaan erilaisia määriä energiaa. Eri atomeilla on tietyt energiatilat, joissa ne voivat olla. Energian ollessa pienimmillään atomi on perustilassa. Jos atomiin törmää fotoni, jolla on sopiva määrä energiaa atomin energiatasojen kannalta, atomi absorboi sen ja virittyy. Viritystilan lauetessa atomi lähettää fotonin satunnaiseen suuntaan. Fotoni voi aiheuttaa muutoksia myös molekyylien värähtelyyn tai pyörimiseen. Viritystila voi purkautua vaihteittain, jolloin atomista tai molekyylistä lähtee eri aallonpituuksien säteilyä tai eri energiamäärää kuljettavia fotoneita.

Jos fotonilla on tarpeeksi paljon energiaa, se voi irrottaa atomista tai molekyylistä osan tai osia. Tähän perustuu lyhytaaltoisen säteilyn vaarallisuus. Toisaalta sen kyky reagoida herkästi estää sen pääsyn maapallolle, sillä se absorboituu jo ilmakehän yläosissa.

Myös sironta heikentää auringosta maapallolle tulevaa säteilyä. Siinäkin fotoni absorboituu atomiin, mutta lähtee atomista välittömästi. Tällöin fotoni liikkuu yleensä eri suuntaan kuin tul-

lessaan. Sironnassa fotonin energiamäärä pysyy samana.

Hahmottelin aineiston analyysin pohjaksi seitsemän luonnontieteellistä prosessia (vrt. Ekborg & Areskoug 2006: 21), jotka tulee mielestäni hallita, jotta voi ymmärtää kasvihuoneilmiön luonnontieteellisesti oikein:

- P1: Säteilyn eteneminen: Auringosta maanpinnalle tuleva säteilyenergia on pääasiassa näkyvää valoa.
- P2: Mustan kappaleen säteily: maapallolta avaruuteen emittoituvaa säteilyä on pääasiassa pitkäaaltoista lämpösäteilyä (IR).
- P3: Säteilyn fotonimalli: sähkömagneettinen säteily sisältää energialatautuneita fotoneita. Malli kertoo, miten sähkömagneettinen säteily on vuorovaikutuksessa kohteen kanssa.
- P4: Ilmakehän kaasut (pääasiassa kolmiatomiset molekyylit) absorboivat IR-säteilyä fotoneina, mikä aiheuttaa molekyylin värähtelyä eli muuttaa niiden säteilyenergian lämmöksi.
- P5: Tulo- ja lähtösäteily vaikuttavat ilmakehässä eri tavoin.
- P6: Kasvihuonekaasuilla on erilainen kysy absorboida pitkäaaltoista lämpösäteilyä.
- P7: Kasvava säteilypakote eli ilmakehässä liisääntyvien kasvihuonekaasujen määrä aiheuttaa positiivisen säteilypakotteen.

Lisäksi jaottelin prosessit kolmeen ryhmään: *kuvailtava taso* (P5, P6 ja P7), *mallitaso* (P1, P2 ja P3) ja *molekyylitaso* (P4) (vrt. Lin & Hu 2003: 1530). Mielestäni tasojen avulla kasvihuoneilmiötä ja ilmastomuutosta voidaan opettaa korkea-asteen oppijoille syvällisesti. Nykyisessä maantieteen yliopisto-opetuksessa ja opettajankoulutuksessa malli- ja molekyylitaso otetaan ymmärtääkseni puutteellisesti huomioon. Tämä näkyy puutteellisena opetuksena myös alemmilla kouluasteilla.

Aineisto ja sen analyysi

Keräsin tutkimusaineistoni Jyväskylän yliopiston opettajakoulutuslaitoksessa vuosina 2003, 2004 ja

2005 ympäristö- ja luonnontieteitä opiskelevilta luokanopettajaopiskelijoita (taulukko 2). Opiskelijat kirjoittivat vastaukset itsenäisesti ympäristö- ja luonnontiedon demo-opetuksen aikana. Heille kerrottiin tutkimuksen tarkoitus ja heiltä kysyttiin seuraavat kysymykset: *Mitä kasvihuoneilmiöllä mielestäsi tarkoitetaan?* ja *Mistä kasvihuoneilmiö johtuu?* Käytin kasvihuoneilmiön käsitettä, sillä halusin tietää, kuinka se ymmärretään. Vaikka olisin kysynyt ilmaston lämpenemisen syitä ja seurauksia, tulokset olisivat oletettavasti olleet hyvin samankaltaiset, sillä aikaisemmat tutkimukset (ks. Nevanpää 2005) osoittavat opiskelijoiden sekoittavan kasvihuoneilmiön ja ilmastomuutoksen toisiinsa. Oppilaiden käsitteenmuodostusta koskevissa tutkimuksissa (mm. Papadimitriou 2004; Nevanpää 2005) avoin kyselylomake on käyttökelpoinen menetelmä, sillä se osoittaa lomaketutkimusta paremmin oppilaiden käsitykset tutkittavasta ilmiöstä.

Analysoin aineiston teoriasidonnaisesti ja pääsääntöisesti kvalitatiivisesti. Luin vastaukset huolellisesti läpi ja ryhmittelin ne pääkäsitteiksi ja käsittekkategoriaksi. Laadin yhdestä käsittekkategoriasta, otsonikadosta, myös käsittekkavion, joka kuvaa ilmiön kausaalista yhteyttä ilmaston lämpenemiseen. Aineiston analyysi ja kaavioiden laatiminen pohjautuivat esittämiäni seitsemän prosessin ilmenemiseen samaan käsittekkategoriaan kuuluvien opiskelijoiden vastauksissa.

Aineistosta nousseet kahdeksan käsittekkategoria ovat hyvin samankaltaisia kuin muissakin tutkimuksissa (Nevanpää 2005). Luokitteluvaiheessa yhtenäistin ilmauksia, esimerkiksi ilmakehän saasteet ja päästöt muodostivat yhden käsitteen. Lopuksi laskin opiskelijoiden kirjoittamien käsitteiden frekvenssejä.

Menetelmän luotettavuutta lisää se, että yhteen käsittekkategoriaan kuuluu useiden opiskelijoiden vastauksia, jolloin vastaajien kirjoitustaidot eivät merkittäväällä tavalla vaikuta sen muodostumiseen.

Tarkastelin lopuksi käsittekkategorioita systeemi-ajattelun rakentumisen näkökulmasta. Luonnon-

Muuttuja	Frekvenssi	%	Keskiarvo
Vastaajia	275	–	–
Naisia	217	79	–
Miehiä	58	21	–
Ikä	275	–	23,8
Ylioppilastodistuksen arvolause	275	–	MCL
Maantieteen arvosana	270	–	8,7
Biologian arvosana	275	–	8,6
Fysiikan arvosana	258	–	8,0
Kemian arvosana	262	–	8,0

Taulukko 2. Tutkimukseen osallistuneiden luokanopettajaopiskelijoiden taustatiedot.

tieteen pedagogien Orit Assarafin ja Nir Orionin (2005: 523) mukaan systeemiajattelun mukainen ymmärrys rakentuu kahdeksassa vaiheessa:

- systeemin osien ja prosessien tunnistaminen
- systeemin osien välisten suhteiden tunnistaminen
- osien järjestäminen kokonaisuuksiksi
- yleistäminen
- dynaamisten vuorovaikutussuhteiden tunnistaminen
- systeemin piilevien prosessien paljastaminen
- systeemin jaksottaisen luonteen ymmärtäminen
- systeemin ajallisen ulottuvuuden näkeminen

Opiskelijoiden käsitykset kasvihuoneilmiöstä ja ilmastonmuutoksesta

Aineistoni perusteella opiskelijoiden käsitykset eroavat luonnontieteellisestä selityksestä, sillä vain 4,4 prosenttia opiskelijoista (n = 12) kirjoitti kasvihuoneilmiön olevan eri asia kuin ilmastonmuutos (taulukko 3). Heidän mukaansa kasvihuoneilmiö on luonnollinen asia, jota ilman maapallolla olisi huomattavasti kylmempää ja elinkelvotonta. Opiskelijat mielsivät kasvihuoneilmiön voimistumisen ongelmalliseksi, mutta heidän kirjoituksensa olivat melko suppeita, ja ymmärtämisen kannalta tärkeät prosessit eivät esiintyneet kaikissa vastauksissa.

Aikaisempien tutkimusten (Papadimitriou 2004; Nevanpää 2005) mukaan monet oppijat sekoittavat luonnollisen kasvihuoneilmiön ja ilmastonmuutoksen keskenään. Esimerkiksi kasvatustieteilijä Vasiliki Papadimitriou (2004, 302) tutkimuk-

Taulukko 3. Luokanopettajaopiskelijoiden (n = 275) kirjoitelmien perusteella muodostettujen käsitteekategorioiden frekvenssit ja prosentit.

Käsitteekategoria	Frekvenssi	Prosenttia
Kasvihuoneilmiö ≠ ilmastonmuutos	12	4,4
Kasvihuonekaasut aiheuttavat lämpenemistä	32	11,6
Ilmakehän ohentuminen aiheuttaa lämpenemisen	5	1,8
Säteilypakotteen häiriintyminen aiheuttaa lämpenemisen	28	10,2
Kasvihuoneilmiöllä on yksinkertainen kausaalisuhte	23	8,4
Kasvihuoneilmiön virheellinen tulkinta	12	4,4
Kasvihuone kasvihuoneilmiön analogiana	28	10,2
Otsonikato aiheuttaa lämpenemistä	135	49,1
Yhteensä	275	100

ssa 51 prosenttia ensimmäisen vuoden luokanopettajaopiskelijoista arveli luonnollisen kasvihuoneilmiön olevan ilmastonmuutoksen syy. Ruotsalaisille yhdeksäsluokkalaisille suunnatun kyselyn mukaan vain kymmenen prosenttia oppilaista piti kasvihuoneilmiötä luonnollisena ilmiönä (Andersson & Wallin 2000). Suomessa käsitesekeannukset (ks. Nevanpää 2005) perustuvat todennäköisesti mediaan, jossa on vasta viime vuosina alettu puhua ilmastonmuutoksesta kasvihuoneilmiön sijasta (Lyytimäki 2007).

Vastaajani olivat ymmärtäneet parhaiten ilmakehässä olevien kasvihuonekaasujen aiheuttaman positiivisen säteilypakotteen ja Maan lähtösäteilyn pidemmän aallonpituuden. On todennäköistä, että tähän käsitteekategoriaan kuuluviin vastauksiin ovat vaikuttaneet opiskelijoiden hyvin suoritamat (arvosana vähintään 9) maantieteen, fysiikan ja kemian lukio-opinnot.

Kasvihuonekaasut aiheuttavat lämpenemistä

Tutkimukseni opiskelijoista noin 12 prosenttia kuvasi kasvihuonekaasut lämpösäteilyn avaruuteen emittoitumisen eli lähettämisen estomekanismiksi (taulukko 3), mutta ei hallinnut esimerkiksi fotoneja ja lämpösäteilyn absorboitumista kasvihuonekaasuihin. Vastaukset kuvasivat ilmakehässä tapahtuvia luonnontieteellisiä ilmiöitä vain osittain. Koululaisille suunnatut tutkimukset osoittavat, että oppilaat mieltävät hiilidioksidipäästöt itsestään lämpiminä (Nevanpää 2005: 73). Luokanopettajaopiskelijoilla en näin suurta väärinymmärrystä havainnut. Opiskelijat osasivat kohtalaisen hyvin nimetä kasvihuonekaasuja (CO₂ useimmin mainittu), vaikka viisi heistä liitti näihin myös saasteet, niitä tarkemmin erottelematta. Vastaukset eivät osoittaneet opiskelijoiden ymmärtävän kasvihuonekaasujen ominaisuuksia ja kykyä lämmittää ilmakehää.

Ilmakehän oheneminen aiheuttaa lämpenemisen

Vajaa kaksi prosenttia opiskelijoista kuvasi ilmakehän ohenemisen syyksi ilmaston lämpenemiseen (taulukko 3). He kirjoittivat vahvasti yleistäen saasteiden, päästöjen, teollisuuden ja luonnonympäristöjen tuhoutumisen ohentavan ilmakehää. Aikaisempien tutkimusten perusteella ihmiset saattavat epäloogisesti ajatella, että ilmakehän suojaavan ominaisuuden vähentyminen johtaa myös ilmakehän lämpenemiseen (ks. Christidou & Koulaidis 1996; Nevanpää 2005: 75). Opiskelijat ovat saattaneet ymmärtää jossain määrin väärin ilmakehän rakenteen sekä otsonikerroksen ja kuvitella ilmakehän kaasujen muodostamaksi homogeeniseksi kokonaisuudeksi.

Säteilypakotteen häiriintyminen

Säteilypakotteella kuvataan tulevan lyhytaaltoisen ja poistuvan pitkäaaltoisen säteilyn välistä eroa (W/m^2) (Boeker & van Grondelle 1996: 38). Esimerkiksi jäätiköt vaikuttavat negatiivisesti säteilypakotteeseen. Tutkimukseeni osallistuneista noin 10 prosenttia vastasi, tosin puutteellisesti, säteilypakotteen lisääntymisen aiheuttavan ilmaston lämpenemistä (taulukko 3). Tämä on huomattavasti vähemmän kuin luonnontieteen pedagogien Helen Jeffriesin ym. (2001: 210) tutkimuksessa, jossa yli 80 prosenttia biologian opiskelijoista arveli kasvihuoneilmiön syyksi sen, että Auringon säteet eivät pääse poistumaan ilmakehästä. Eroa selittää osaltaan opiskelijoiden pääaine (luonnontiede vs. kasvatustiede), mutta toisaalta myös tutkimuksissa käytetyt kysymystyypit ja mittausvälineet, sillä jälkimmäisessä opiskelijoille annettiin valmiit vastausvaihtoehdot.

Tässä käsitteekategoriassa opiskelijat painottivat vastauksissa säteilyn takaisinheijastumisen häiriintymistä, mutta eivät tarkemmin kirjoittaneet säteilyn ominaisuudesta ja muuttumisesta. Täten opiskelijat eivät osanneet liittää mustan kappaleen säteilylakia maanpinnalta lähtevän säteilyn aallonpituuteen vaikuttavaksi prosessiksi. Tämä johtaa siihen, ettei kasvihuonekaasujen lämmittävää vaikutusta ymmärretä. Opiskelijat ajattelevat, että saasteiden ja päästöjen muodostama kerros estää säteilyn heijastumisen, kun todellisuudessa aerosolit kasvattavat albedoa (ks. Kuusisto & Käyhkö 2004: 61). Myös otsonikerroksen oletettiin estävän säteilyn heijastumista. Tässä käsitteekategoriassa opiskelijoiden vastauksissa näkyi virheellisesti myös otsonikerroksen aiheuttama kasvihuoneilmiö.

Ilmiöllä on yksinkertainen kausaalisuhde

Aikaisempiin koululaistutkimuksiin (Andersson & Wallin 2000; Nevanpää 2005) verrattuna tutkimukseeni osallistuneista verrattain harvat (8,4 %) yksinkertaistivat kasvihuoneilmiön pelkästään syihin ja seuraukseen eli ilmastonmuutokseen (taulukko 3). Tähän käsitteekategoriaan luokittelemanen vastaukset osoittivat esimerkiksi päästöjen, saasteiden ja sademetsien hakkuiden aiheuttavan kasvihuoneilmiötä. Opiskelijat ovat käsittäneet kasvihuoneilmiön laajaksi prosessiksi, mutta eivät ole sisäistäneet sitä malli- ja molekyyli tasolle asti.

Kasvihuoneilmiön virheellinen tulkinta

Kaksitoista opiskelijaa (4,4 %) kirjoitti epäloogisesti, että esimerkiksi jääkaudet, maan magneettikentän muutos, roskaantuminen ja ongelmajätteet

aiheuttavat kasvihuoneilmiötä ja ilmastonmuutosta (taulukko 3). Vastaukset jäivätkin yksittäisiksi ja perustelemattomiksi ilmaisuiksi, eikä ilmiöiden vaikutusmekanismeja kuvattu tarkemmin.

Ruotsissa kymmenen prosenttia lukioikäisistä ymmärsi opetusjakson jälkeen ilmastonmuutoksen puutteellisesti kirjoittamalla muun muassa, että kasvihuoneilmiö aiheuttaa lämpenemistä, joka johtaa napajäätiköiden sulamiseen ja merenpinnan nousuun (Andersson ja Wallin 2000: 1101). Suomalaisille yhdeksäsluokkalaisten suunnatussa tutkimuksessa syiden luettelointi ennen opetusta ja sen jälkeen ei muuttunut mitenkään (Nevanpää 2005: 119).

Kasvihuoneanalogia ilmastonmuutosmallina

Luonnontieteissä ilmiöitä voidaan selittää malleilla, jotka voivat olla myös käsitteellisiä (Saari & Viiri 2003). Ilmastonmuutoksessa usein käytetty kasvihuoneanalogiamalli on kuitenkin harhaanjohtava (Karttunen ym. 2008: 97). Kasvihuoneessa oleva lasi estää tuuletuksen eli lämmön siirtyminen advektion ja konvektion avulla. Ilmakehässä kasvihuonekaasut vastaavat lasia, mutta eivät estä tuuletusta. Täten kasvihuoneen lasia ei voi sellaisenaan käyttää ilmakehässä olevien kasvihuonekaasujen analogiana. Ilmakehässä kasvihuonekaasut absorboivat pitkäaaltoista säteilyä fotoneina, mikä aiheuttaa molekyylien värähtelyä ja muuttaa säteilyenergian lämmöksi. Tähän käsitteekategoriaan kuului 10,2 prosenttia opiskelijoiden vastauksista ($n = 28$, taulukko 3). He ajattelivat saasteiden, päästöjen, kasvihuonekaasujen ja otsonikerroksen muodostavan ilmakehässä kasvihuonevaikutusta voimistavan kerroksen. Useissa kirjoituksissa mainittiin suoraan, että kasvihuoneilmiön aiheuttaa kasvihuoneen lasin tapainen ”este”, joka vaikeuttaa säteilyn karkaamista avaruuteen. Kasvihuonetta ilmiötä kuvaavana mallina on käytetty yleisesti maantieteen opetuksessa, koska näin ei ole tarvinnut pureutua fyysis-kemialliselle mallitasolle saakka. Kasvihuoneanalogiaa kannattaa käyttää opetuksessa harkiten esimerkiksi pedagogisen konfliktin muodostamisen apukeinona, jolloin sen avulla voitaisiin opettaa lämmön siirtymisen tapoja (lämpösäteily, johtuminen ja aineen mukana kulkeutuminen).

Otsonikato aiheuttaa ilmaston lämpenemistä

Opiskelijoista miltei puolet yhdisti kasvihuoneilmiön ja otsonikadon kausaalisuhteella toisiinsa. Myös muissa tutkimuksissa vastaajat sekoittavat otsonikadon syntymekanismit kasvihuoneilmiön voimistumiseen (Rye ym. 1997; Nevanpää 2005).

kouluopetukseen pedagogiikkaa systeemiajattelua tukevaksi.

Tulokset osoittavat, että arvosanojen perusteella erinomaisesti koulussa menestyneet luokanopettajaopiskelijat eivät ole ymmärtäneet kasvihuoneilmiötä kokonaisvaltaisesti oikein. Päinvastoin, heidän vastauksensa ovat luonnontieteellisesti puutteellisia. Tällöin Assarafin ja Orionin (2005) esittämät kolme ensimmäistä vaihetta – eli perusta kokonaisvaltaiselle ymmärtämiselle – jäävät saavuttamatta. Vaikka suomalaisten nuorten luonnontieteellinen osaaminen on PISA-tutkimuksen (PISA 2007) perusteella maailman parasta, opetusta voi edelleen parantaa. Esimerkiksi opetus-harjoittelussa kokonaisuuksien hahmottaminen on oppijoille hyvin vaikeaa, minkä huomaan lähes päivittäin opettajankouluttajana.

Jotta kasvihuoneilmiön ja ilmastomuutoksen ymmärtämiseen tähtäävät askelmat olisivat tukevat, maantieteen opettajankoulutuksessa kannattaisi pohjautua esittämiini luonnontieteellisiin prosesseihin ja kiinnittää erityistä huomiota sähkömagneettisen säteilyn luonteeseen (P1 ja P3) ja sen käyttäytymiseen maapallosysteemissä (P4, P6 ja P7) ja maanpinnalla (P2, P5) (vrt. Papadimitriou 2004; Nevanpää 2005; Ekborg & Areskoug 2006). Myös kasvihuonekaasujen kemiallisia ominaisuuksia ja lämpösäteilyn absorboitumista kaasuihin kannattaisi painottaa, sillä niiden vaikutus ilmaston lämpenemiseen on kiistaton. Lisäksi otsonikadon suhde kasvihuoneilmiöön ja ilmastomuutokseen pitää käydä opetuksessa huolellisesti läpi. Tutkimukseni osoittaa opiskelijoiden ymmärtävän ilmakehän rakenteen ja koostumuksen puutteellisesti. Maantieteen opettajankoulutuksessa tulisi painottaa ilmakehän kerroksellisuutta ja kerroksien fyysis-kemiallisia ominaisuuksia.

Kun oppija hallitsee kokonaisuuden, hän kykenee opettamaan asian oikein muille ja tekemään yleistyksiä. Ilmastomuutoksen yhteydessä tämä tarkoittaa esimerkiksi kykyä hahmottaa ilmastomuutoksen vaikutuksia luonnossa. Ainakin maantieteen ongelmalähtöisessä yliopistokoulutuksessa apuna voitaisiin käyttää yksinkertaisia mallinnus- ja simulaatio-ohjelmia, samalla periaatteella kuin paikkatieto-opetuksessa. Tällöin luonnontieteen, tässä tapauksessa ilmastomuutoksen, opetuksessa voitaisiin syventyä myös luonnontieteen pedagogien Hsin-Yuan Linin ja Reping Hun (2003) ehdottamaan malli- ja molekyyliatasoon. Mallinnusohjelmien ohella käsittekarttoja voidaan piirtää myös käsin osana yhteistoiminnallista oppimista. Vaikka lähes kaikki luokanopettajaksi opiskelevat ovat nykyisin lukeneet lukiossa myös fysiikkaa ja kemiaa, ei kasvihuoneilmiön luonnontieteellistä perustaa voi jättää pelkästään niiden

vastuulle. Maantieteen, kemian ja fysiikan oppisältöjä yhdistämällä voitaisiin lukio-opetuksessa kenties päästä parhaisiin tuloksiin.

Systeemiajatteluun pohjautuvassa maantieteen opetuksessa pitää muistaa myös ilmastomuutoksen yhteiskunnalliset ulottuvuudet. Tutkimukseni verrattain harva tiesi esimerkiksi, että kasvihuoneilmiön voimistuminen aiheutuu ihmisten toiminnasta puhumattakaan kulutustottumusten seurauksista.

Opettajankoulutuksessa onkin tärkeää nostaa esille suurimpia ja tulevaisuuden kannalta pulmallisimpia ympäristökysymyksiä. Atomistisen tiedon koostaminen yhteen on entistä tärkeämpää. Ilmastomuutosta yhtenä globaalimuutoksen osana voidaankin tutkia systeeminanalyysin avulla (Kuusisto & Käyhkö 2004: 29). Myös maantieteen opettajankoulutuksessa systeemiajattelun avulla voitaisiin pureutua ilmastomuutokseen vaikuttavien tekijöiden kuvaamiseen ja erityisesti niiden vuorovaikutuksen ymmärtämiseen.

Kiitokset

Kiitän tutkimukseen osallistuneita luokanopettajaopiskelijoita arvokkaista vastauksista sekä kahta nimetöntä arvioitsijaa käsi-kirjoitusta koskevista parannusehdotuksista.

KIRJALLISUUS

- Andersson, B. & A. Wallin (2000). Students' understanding of the greenhouse effect, societal consequences of reducing CO₂ emissions and why ozone layer depletion is a problem. *Journal of Research in Science Teaching* 37: 10, 1096–1111.
- Assaraf, O., B.-Z. & N. Orion. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching* 42: 5, 518–560.
- Boeker, E. & R. van Grondelle (1996). *Environmental physics*. 448 s. John Wiley & Sons, New York.
- Boyes, E. & M. Stanisstreet (1993). The "greenhouse effect": children's perceptions of causes, consequences and cures. *International Journal of Science Education* 15: 5, 531–552.
- Boyes, E. & M. Stanisstreet (1997). Children's models of understanding of two major global environmental issues (ozone layer and greenhouse effect). *Research in Science & Technology Education* 15: 1, 19–28.
- Christidou, V. & V. Koulaidis (1996). Children's models of the ozone layer and ozone depletion. *Research in Science Education* 26: 4, 421–436.
- Climate Change (2007). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 996 s. Cambridge University Press, Cambridge.
- Ekborg, M. & M. Areskoug (2006). How students teachers' understanding of the greenhouse effect develops

- during a teacher education programme. *Nordina* 5: 3, 17–29.
- Fisher, B. (1998). Australian students' appreciation of greenhouse effect and the ozone hole. *Australian Science Teacher Journal* 44: 3, 46–55.
- Jeffries, H., M. Stanisstreet & E. Boyes (2001). Knowledge about the "Greenhouse effect": have college students improved. *Research in Science & Technological Education* 19: 2, 205–221.
- Karttunen, H., J. Koistinen, E. Saltikoff & O. Manner (2008). Ilmakehä, sää ja ilmasto. *Ursan julkaisuja* 107. 497 s.
- Koulaidis, V. & V. Christidou (1999). Models of students' thinking concerning the greenhouse effect and teaching implications. *Science Education* 83: 5, 559–576.
- Kuusisto, E. & J. Käyhkö (2004). *Gloaalimuutos: Suomen Akatemien Figare-ohjelma*. 169 s. Otava, Helsinki.
- Lin, C.-U. & R. Hu (2003). Student's understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis and respiration. *International Journal of Science Education* 25: 12, 1529–1544.
- Lyytimäki, J. (2007). Katastrofin aineksia? Ilmastokysymysten uutisointi ja medialukutaito. Luento Ympäristökasvatuksen päivillä Oulussa 11.10.2007.
- Nevanpää, T. (2005). "Sillä vois olla jotain tekemistä näitten kasvihuonekaasujen kanssa" Ilmaston lämpeneminen yläluokkalaisten käsityksissä. Jyväskylän yliopisto. Koulutuksen tutkimuslaitoksen julkaisuja 17. 189 s.
- Otonikato. (2007). Suomen ympäristökeskus. 15.10.2007. <www.ymparisto.fi/>
- PISA (2007). Science Competencies for Tomorrow's World, Vol. 1. <www.pisa.oecd.org/>
- Papadimitriou, V. (2004). Prospective primary teachers' understanding of climate change, greenhouse effect, and ozone layer depletion. *Journal of Science Education & Technology* 13: 2, 299–307.
- Rickinson, M. (2001). Learners and learning on environmental education: a critical review of the evidence. *Environmental Education Research* 7: 3, 207–316.
- Rye, J., P. A. Rubba & R. L. Wiesenmayer (1997). An investigation of middle school students' alternative conceptions of global warming. *International Journal of Science Education* 19: 5, 527–551.
- Saari, H. & J. Viiri (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modeling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education* 25: 11, 1333–1352.