

Pro Gradu –tutkielma

**Systemiajattelutaitojen kehittäminen
seitsemäsluokkalaisilla rehevöitymisen opettamisen
yhteydessä**

Olli Helkiö



Jyväskylän yliopisto

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Biologia

18.2.2011

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Biologia

HELKIÖ, O. : Systeemiajattelutaitojen kehittäminen seitsemäsluokkalaisilla rehevöitymisen opettamisen yhteydessä

Pro Gradu –tutkielma: 48 s.

Työn ohjaajat: Dos. Jari Haimi, FT Ilkka Ratinen

Tarkastajat: Dos. Jari Haimi, FT Matti Hiltunen

Helmikuu 2011

Hakusanat: Oppiminen, seitsemäsluokkalainen, systeemiajattelu, systeemiajattelutaidot, rehevöityminen

TIIVISTELMÄ

Systeemi on aina kokonaisuus, joka koostuu keskenään vuorovaikutuksessa olevista osista. Systeemisten ilmiöiden ymmärtämistä ja oppimista voidaan edistää systeemiajattelutaitoja kehittävän opetuksen avulla. Systeemiajattelussa on keskeistä, että ymmärretään ilmiön kokonaisuudessaan olevan tärkeämpi kuin sen osien summa. Monet biologiset ilmiöt ovat systeemisiä. Luonnontieteiden opetuksessa on kuitenkin tutkittu varsin vähän systeemiajattelutaitojen kehittymistä ja sitä, kuinka oppilaat oppivat systeemisiä ilmiöitä. Tässä työssä systeemiajattelutaitojen kehittymistä tutkittiin kahdella Jyväskylän normaalikoulun seitsemännellä luokalla rehevöitymisen opettamisen yhteydessä. Systeemi luokalle rehevöityminen opetettiin systeemiajattelutaitoja kehittävällä opetusmenetelmällä ja normaaliluokalle perinteistä opettajajohtoista opetusta käyttäen. Opetusta annettiin 2 x 45 minuuttia. Tutkimuksen keskeisenä tavoitteena oli selvittää, onko eri opetusmenetelmillä vaikutusta systeemiajattelutaitojen ja rehevöitymisen oppimisen kehittymiseen. Tutkimuksen aineisto kerättiin tekemällä luokille alkumittaus ennen opetusta, loppumittaus opetuksen jälkeen sekä laatimalla ko. aiheesta koekysymys luokkien kurssikokeen yhteyteen. Systeemiajattelutaitojen tasoa arvioitiin sijoittamalla oppilaiden vastukset eri systeemiajattelutaitojen tasoille. Rehevöitymisen ja koevastauksen osaamista arvioitiin rehevöitymisprosessin ja koevastauksen osatekijöiden ilmenemisellä oppilaiden vastauksissa. Työn merkittävimpana tuloksena voidaan pitää sitä, että systeemi luokalla tapahtui systeemiajattelutaidoissa sekä rehevöitymisen osaamisessa kehittymistä alku- ja loppumittauksen välillä, mitä taas normaaliluokalla ei tapahtunut, vaikka luokat eivät eronneet systeemiajattelutaitojen tasossa eivätkä rehevöitymisen osaamisen suhteen alkumittauksessa, loppumittauksessa eivätkä kokeessa. Työn tulosten perusteella näyttää siltä, että yläkouluikäisten biologian ja myös muiden kouluaineiden opetuksessa on opetettavia asioita perusteltua lähestyä systeemiajattelutaitoja kehittävien työtapojen kautta. Tällöin myös saavutetaan mahdollisimman hyvin opetussuunnitelmassa vaadittavat opetuksen tavoitteet ja päämäärät. Tämä työ osoittaa, että jo kahden oppitunnin mittaisella opetusjaksolla voidaan saavuttaa systeemiajattelutaitojen kehittymistä.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Science

Department of Biological and Environmental Science

Biology

HELKIÖ, O. : Development of systems thinking skills among seventh graders
in the context of teaching eutrophication

Master of Science Thesis: 48 p.

Supervisors: PhD Jari Haimi, PhD Ilkka Ratinen

Inspectors: PhD Jari Haimi, PhD Matti Hiltunen

February 2011

Key Words: Eutrophication, learning, seventh grader, systems thinking, systems thinking skills

ABSTRACT

A system is always an entity which consists of components that interact with each other. Understanding and learning systemic phenomena can be advanced by using systems thinking skills. In systems thinking, it is essential that a phenomenon as a whole is understood as more important than the sum of its parts. Many biological phenomena are systemic. However, the development of systems thinking skills and pupils' learning of systemic phenomena have not been studied to a very large extent in teaching natural sciences. This study examined the development of systems thinking skills in the context of teaching eutrophication in two seventh grade classes in Jyväskylä Normaalkoulu. The systemic class was taught eutrophication by using a teaching method that was expected to support the development of systems thinking skills, while the normal class received more traditional teaching supervised by the teacher. The time period of teaching was 2 x 45 minutes. The main goal of this study was to find out whether different teaching methods have an effect on the development of systems thinking skills and the learning of eutrophication. The material of the study was collected by performing a pre-test for the classes before the teaching and a post-test after the teaching, as well as including a question of the issue in the course exam. The pre-test and post-test included a task, in which pupils' were asked to explain lake eutrophication to the picture. The level of systems thinking skills was assessed by placing pupils' answers to different levels of systems thinking skills. The learning of eutrophication and the answers to the exam question were assessed by analyzing how the components of eutrophication process and the exam question were included in the pupils' answers. The results showed that there were no statistical differences between the classes in the level of systems thinking skills or in the knowledge of eutrophication in the pre-test or post-test, or in the course exam. The most significant statistical result of the study was that the pupils' in the systemic class developed in systems thinking skills and improved their knowledge in eutrophication between the pre-test and post-test. This development was not observed in the normal class. The results of the present study proposed that it is justified to use working methods that develop systems thinking skills when teaching biology and also other subjects in secondary school. Concomitantly, also the goals and objectives set for teaching in the curriculum become well achieved. This study proved that systems thinking skills develop already during the time period of two lessons.

Sisältö

1. JOHDANTO	6
2. OPPIMINEN JA OPPIMISKÄSITYKSET	7
2.1. Mitä on oppiminen?.....	7
2.1.1. Oppimisen kokonaismalli.....	7
2.1.2. Behavioristinen oppimiskäsitys.....	8
2.1.3. Konstruktivistinen oppimiskäsitys.....	9
2.1.4. Sosiokonstrukttiivinen oppimiskäsitys.....	9
2.2. Oppimisen tilannesidonnaisuus ja siirtovaikutus	10
3. SYSTEEMIAJATTELU	10
3.1. Mikä on systeemi?.....	10
3.2. Systeemiajattelutaidot.....	11
3.3. Systeemiajattelutaidot koulumaailmassa	12
4. REHEVÖITYMINEN	13
4.1. Rehevöitymisen määritelmä.....	13
4.2. Järvien rehevöitymisprosessin pääpiirteet	15
5. AINEISTO JA MENETELMÄT	15
5.1. Tutkimuksen lähtökohdat ja aikataulu.....	15
5.2. Systeemiajattelua tukevat oppitunnit: Systeemiluokka	16
5.2.1. Systeemiajattelua tukevien oppituntien perusta.....	16
5.2.2. Oppituntien eteneminen	16
5.3. Perinteiset oppitunnit: Normaaliluokka.....	19
5.3.1. Perinteisten oppituntien perusta.....	19
5.3.2. Oppituntien eteneminen liitteen 1 mukaan.....	19
5.4. Alku- ja loppumittaus sekä koekysymys	20
5.4.1. Alku- ja loppumittaus.....	20
5.4.2. Koetehtävä.....	21
5.5. Oppilaiden vastausten arviointi.....	22
5.5.1. Systeemiajattelutaitojen arviointi	22
5.5.2. Rehevöitymisen ja koetehtävän osaamisen arviointi	23
5.6. Tilastolliset testit	24
6. TULOKSET.....	25
6.1. Oppilaiden sijoittuminen systeemiajattelutaitojen tasoihin alkumittauksessa, loppumittauksessa ja kokeessa	25
6.2. Systeemiajattelutaitojen kehitys alku- ja loppumittauksen, alkumittauksen ja kokeen sekä loppumittauksen ja kokeen välillä.....	26
6.3. Rehevöitymisen osaaminen alku- ja loppumittauksessa	27
6.4. Koevastauksen osaamisen erot.....	28
6.5. Tyypilliset vastaukset alku- ja loppumittauksessa ja kokeessa.....	28
6.5.1. Rehevöitymisen osaaminen ja systeemiajattelutaitojen ilmeneminen tason yksi vastauksissa alkumittauksessa, loppumittauksessa ja kokeessa.	28
6.5.2. Rehevöitymisen osaaminen ja systeemiajattelutaitojen ilmeneminen tason kaksi vastauksissa alkumittauksessa, loppumittauksessa ja kokeessa.....	30
6.5.3. Rehevöitymisen osaaminen ja systeemiajattelutaitojen ilmeneminen tason kolme vastauksissa alkumittauksessa, loppumittauksessa ja kokeessa.	32
6.5.4. Rehevöitymisen osaaminen ja systeemiajattelutaitojen ilmeneminen tason neljä vastauksissa alkumittauksessa, loppumittauksessa ja kokeessa.	35
6.6. Oppilaan (13) kehitys alkumittauksesta loppumittaukseen ja kokeeseen	39

7. TULOSTEN TARKASTELU	41
Kiitokset.....	44
Kirjallisuus	45
Liite 1. Normaaliluokan oppilaiden muistiinpanot.....	47

1. JOHDANTO

Biologia on luonnontiede, joka tutkii elollisen luonnon rakennetta, toimintaa ja vuorovaikutussuhteita molekyylitasolta globaaliin tasoon (Campbell & Reece 2002). Biologiassa kysymyksillä, mitä on, miksi on ja miten on, pyritään selittämään ja ymmärtämään ilmiöiden syy-seuraussuhteiden verkostoja tai ketjuja, joista ei voi osoittaa yhtä ainoaa tekijää, joka selittää ilmiön (Portin 1989, Eloranta 2005). Biologisen ilmiöiden ja järjestelmien ymmärtäminen edellyttää, että ymmärrämme sekä sen osat että sen kokonaisuuden, jonka osat muodostavat (Portin 1989). Tämä myös edellyttää, että ymmärrämme sen kokonaisuuden, jossa tuo järjestelmä on osana.

Biologian opetus koulussa on elävän luonnon, koulun opettajien ja oppilaiden välistä vuorovaikutusta (Virtanen & Kankaanrinta 1989). Biologian opetuksen tavoitteet määräytyvät muun muassa vallitsevista tiedonkäsityksistä, oppimisteorioista, opetussuunnitelmista ja biologian tiedepohjasta (Eloranta 2005). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa biologian osalta 7–9 vuosiluokille todetaan, että opetuksen tulee kehittää oppilaan luonnontuntemusta ja ohjata ymmärtämään luonnon perusilmiöitä (Opetushallitus 2004). Biologian opetuksessa oppilasta ohjataan kiinnittämään huomiota ihmisen ja muun luonnon välisiin vuorovaikutussuhteisiin. Opetuksen tulee kehittää oppilaan luonnontieteellistä ajattelua, ja sen tulee antaa oppilaalle valmiudet havainnoida ja tutkia luontoa. Opetussuunnitelmassa biologian opetuksen keskeisiä tavoitteita ovat muun muassa, että oppilas oppii hahmottamaan ekosysteemin rakennetta sekä toimintaa ja tunnistamaan kotiseutunsa ympäristömuutoksia, pohtimaan niiden syitä ja esittämään niiden ratkaisumahdollisuuksia.

Biologian opetuksessa käytetään sekä opettajakeskeisiä että tutkivaan oppimiseen ja ongelmaratkaisuun perustuvia työtapoja (Palmberg 2005). Opettajakeskeiset oppitunnit perinteisessä kouluopetuksessa mukailevat usein behavioristista oppimiskäsitystä. Opettajakeskeisiä opetustapoja ovat esittävä opetus ja kyselevä opetus. Esittävässä opetuksessa opettaja johdattelee, kertoo, kuvailee tai selittää asiaa tai ilmiötä ja samalla konkretisoi opetustaan kuvien, kalvojen tai videoiden avulla. Kyselevässä opetuksessa opettaja ajattelua tukevilla kysymyksillä yrittää saada oppijat ajattelemaan.

Biologian ja muiden luonnontieteiden opiskelulle on tyypillistä kokeellisuus ja tutkiminen (Eloranta 2005). Monet biologiset ilmiöt ovat vaikeasti ymmärrettäviä, ja ne ovat vaihteittain eteneviä tapahtumia, joten biologian oppitunneilla on myös keskeistä opettaa asioita tutkivan oppimisen näkökulmasta. Konstruktivismiin pohjautuvassa tutkivassa oppimisessa on oleellista, että uudet opittavat asiat kytetään oppijoiden aikaisempiin kokemuksiin ja tietoihin (Hakkarainen ym. 2001, Jeronen 2005). Näitä opittavia asioita pyritään ratkaisemaan ongelmalähtöistä oppimista noudattaen. Tällöin tutkimuskohteena olevasta ilmiöstä muodostetaan hypoteeseja, selityksiä, tulkintoja ja malleja. Tutkivaan oppimiseen liitetään myös ilmiökeskeinen opettaminen (Rauste-Von Wright ym. 2003). Tällöin opetus lähtee todellisuuden ilmiöistä, jotka oppilaat pystyvät tunnistamaan omaan maailmaan kuuluviksi. Oppiminen etenee ylhäältä alas kohti ilmiöiden yksityiskohtia. Maailmaa tarkastellaan ilmiöiden kokonaisuutena ja toisiinsa liittyvien pienempien ilmiöiden suhteina. Lähestymistavan tärkeä elementti on ilmiöiden problematisointi. Ilmiökeskeisessä lähestymistavassa oleellista on, että oppija itse löytää tai hänet ohjataan löytämään kulloinkin opittavana olevan kokonaisuuden ydinilmiöt. Näitä ydinilmiöitä voisi kuvailla elementeiksi, joita ei voi ottaa pois kokonaisuudesta muuttamatta sitä joksikin toiseksi. Oppijan on opeteltava kysymään, mikä kyseessä olevassa asiassa on oleellista ymmärtää. Millaisia asioita minun on pohdittava, jotta voisin ymmärtää tämän kokonaisuuden?

Systeemiajattelu luokitellaan korkeamman tason ajattelun taidoiksi, ja se pohjautuu konstruktivismiin (Frank 2000, Ossimitz 2000, Evagorou ym. 2009, Assaraf &

Orion 2010). Systeemiteoreettinen lähestymistapa on yleisesti hyväksytty osa biologiaa ja biologista tutkimusta, mutta systeemiajattelutaitoja luonnontieteiden opetuksessa ja sitä, kuinka oppilaat voivat oppia monimutkaisia systeemejä koulussa, on kuitenkin tutkittu varsin vähän (Kali ym. 2003, Evagorou ym. 2009, Riess & Mischo 2010). Näissä tutkimuksissa, jotka sijoittuvat koulumaailmaan, systeemiajattelun kehittymistä on usein tutkittu tietokonesimulaatioiden avulla (Ossimitz 2000, Sheehy ym. 2000, Evagorou ym. 2009, Riess & Mischo 2010). Varta vasten systeemiajattelun kehittämiseen käytettyjä tietokoneohjelmia on esimerkiksi Yhdysvalloissa kehitetty STELLA –ohjelma, Alankomaissa kehitetty VUDYNAMO –ohjelma ja Saksassa kehitelty MODUS –ohjelma (Ossimitz 2000).

Systeemiajattelussa keskitytään tarkastelemaan kokonaisuutena jotain systeemiä ilmiötä, joka koostuu aina osista, jotka ovat vuorovaikutuksessa keskenään (Wylie ym. 1998, Hogan 2000, Sheely ym. 2000, Assaraf & Orion 2005 ja 2010). Systeemiajattelussa on keskeistä, että kyetään hahmottamaan systeemin eri osia ja prosesseja sekä näiden osien välisiä vuorovaikutussuhteita sekä ymmärretään osatekijöiden muutoksen vaikutukset koko ilmiöön ja ymmärretään systeemin sisäisiä syy-seuraussuhteita. Systeemiajattelussa on keksittä myös se, että kyetään näkemään systeemissä piilossa olevia ilmiöitä, kyetään tekemään yleistyksiä sekä kyetään ajattelemaan sekä mennyttä että tulevaa.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin systeemiajattelutaitojen kehittymistä ja rehevöitymisen oppimista kahdella Jyväskylän normaalikoulun seitsemännellä luokalla, joista toiselle luokalle rehevöityminen opetettiin systeemiajattelutaitoja kehittävällä opetusmenetelmällä (systeemiluokka) ja toiselle luokalle (normaaliluokka) perinteistä opettajajohtoista opetusta käyttäen. Tutkimuksen aineisto kerättiin tekemällä luokille alku- ja loppumittaus sekä koekysymys.

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää vastaus seuraavaan tutkimuskysymykseen: Millaisia eroja systeemiajattelutaidoissa ja rehevöitymisen osaamisessa seitsemäsluokkalaisilla on ja vaikuttavatko eri opetusmenetelmät systeemiajattelutaitojen ja rehevöitymisen osaamisen kehittämiseen?

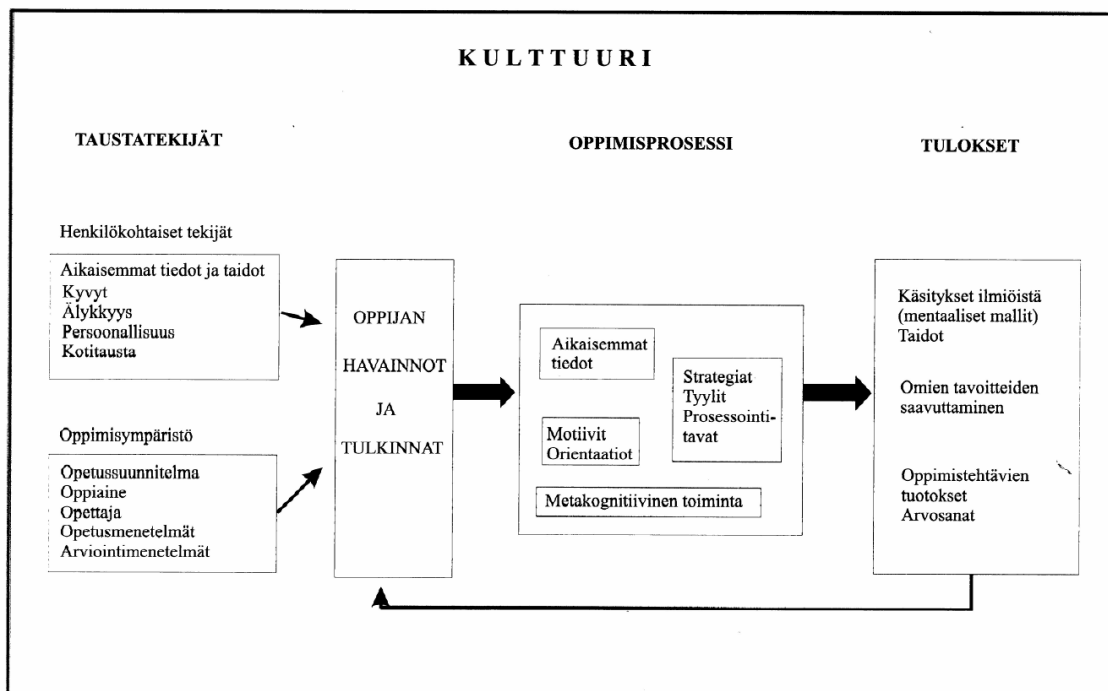
2. OPPIMINEN JA OPPIMISKÄSITYKSET

2.1. Mitä on oppiminen?

2.1.1. Oppimisen kokonaismalli

Syntymästämme lähtien taltioimme ja tulkitsemme uutta informaatiota, rakennamme ja järjestämme kuvaa siitä fyysisestä ja sosiaalisesta maailmasta, jossa elämme. Tätä prosessia kutsumme oppimiseksi (Rauste-Von Wright ym. 2003).

Tynjälä (1999) kuvaa oppimista kokonaismallin avulla (Kuva 1). Mallissa oppiminen on jaettu kolmeen rakenneosaan: taustatekijöihin, prosessiin ja tuloksiin. Nämä ovat sidoksissa kulttuuriin. Taustatekijät vaikuttavat oppijan oppimisprosessiin, mutta vaikutukset eivät ole suoria, vaan ne välittyvät oppijan havaintojen ja tulkintojen kautta. Oppija tekee esimerkiksi havaintoja siitä, millaista oppimista opettaja edellyttää opiskelijoiltaan. Hän muuttaa omia oppimisstrategioitaan havaintojensa suuntaisesti. Oppimisen tuloksena oppija muodostaa oman käsityksensä opiskeluista asioista, ja tällöin oppimiskokemukset kokonaisuudessaan vaikuttavat edelleen oppijan havaintojen ja tulkintojen kautta hänen oppimisprosessiinsa. Näin oppiminen alkaa noudattaa samantyyppisenä toistuvaa kehitystä.



Kuva 1. Taustatekijät, oppimisprosessi ja tulokset sidoksissa kulttuuriin muodostavat yhdessä oppimisen kokonaismallin (Tynjälä 1999).

2.1.2. Behavioristinen oppimiskäsitys

Behavioristisessa oppimiskäsityksessä oppimisella tarkoitetaan ensisijassa yksilön tiedon määrän kasvua (Jeronen 2005). Näkemyksen mukaan oppiminen perustuu reaktioihin, joita ulkoiset ärsykkeet saavat aikaan, ja näitä reaktiota pyritään vahvistamaan (Puolimatka 2002). Välitön palaute, opetettavan aineksen osittaminen ja virheellisten vastausten tai suoritusten nopea sivuuttaminen kuuluvat behavioristista oppimiskäsitystä mukailevaan opetukseen (Jeronen 2005). Käytännön kouluopiskelussa asia ilmenee niin, että oppija vastaa esitettyyn kysymykseen, joka on reaktio tarjottuun ärsykkeeseen. Vastausta seuraa opettajan välitön positiivinen tai negatiivinen palaute, joka toimii vahvistajana. Opettajan esittämät asiat ja kysymykset vaikeutuvat asteittain ja oppijan saaman myönteisen palautteen ja onnistumisen kokemusten motivoiva vaikutus on suurempi kuin negatiivisen palautteen masentava vaikutus (Puolimatka 2002). Behavioristiseen oppimiskäsitykseen kuuluu myös ajatus siitä, että kaikki monimutkaiset ilmiöt on jaettava pienempiin ja yksinkertaisiin osiin, jolloin oppiminen etenee alkeellisimmista ja yksinkertaisimmista reaktioista kohti monimutkaisempia toimintoja (Tynjälä 1999).

Behavioristista oppimiskäsitystä mukaileva opetus on usein hyvin opettajajohtoista (Jeronen 2005). Se myös merkitsee opettajalle työmäärän vähenemistä. Opetuksen ja ohjauksen suunnittelu ja toteuttaminen ovat helpompaa kuin esimerkiksi konstruktivistisessä lähestymistavassa. Yksilöiden ja ryhmien eriyttämisen tarve vähenee, koska opetus voidaan valmistella tarkasti etukäteen ja samalla pyrkiä samanlaiseen oppimisprosessiin kaikkien oppijoiden kohdalla. Opetustilanteiden looginen rakenne auttaa oppimistulosten kontrolloinnissa ja arvioinnissa.

2.1.3. Konstruktivistinen oppimiskäsitys

Konstruktivismi ei ole yksi oppimismalli vaan joukko oppimisteorioita, jotka perustuvat yhteisiin teoreettisiin lähtökohtiin, kuten konstruktiviseen tieteenteoriaan ja kognitiiviseen psykologiaan (Shalberg & Leppilampi 1997). Kognition voi määritellä tietämisen toiminnaksi, tiedon hankinnaksi, järjestämiseksi ja käytöksi (Hakkarainen ym. 2001). Konstruktivistisen käsityksen mukaan oppiminen ei ole passiivista tiedon vastaanottamista vaan oppijan aktiivista toimintaa, jossa hän kartuttaa omia tietojaan, rakentaa kuvaa maailmasta ja hahmottaa toimintaa siinä (Tynjälä 1999, Puolimatka 2002, Jeronen 2005). Opettamista ei tällöin katsota tiedon siirtämisenä vaan oppimisprosessin ohjaamisena. Opettaja voi kuitenkin olla tärkeässä asemassa tiedon esittäjänä, mutta vielä tärkeämmäksi muodostuu se, miten opettaja järjestää oppimistilanteen, työtavat ja opetusmenetelmät oppijan oppimisprosessia tukeväksi (Tynjälä 1999, Puolimatka 2002).

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen mukaan oppija tulkitsee uutta tietoa aikaisempien tietojen, uskomusten ja käsitysten pohjalta, ja mainitut asiat olisi hyvä pitää uuden ilmiön opetuksen lähtökohtana. Näiden aikaisempien tietojen tiedostaminen auttaa opettajaa ymmärtämään oppilaidensa ajattelua, ja samalla hän edistää oppilaiden oppimisprosessia (Tynjälä 1999, Rauste-Von Wright ym. 2003, Jeronen 2005).

Koska oppimisessa aikaisemmalla tietämyksellä ja oppijan toimintatavoilla opiskelutilanteessa on keskeinen merkitys, tulisi oppijan metakognitiiviseen tietoisuuteen kiinnittää erityistä huomiota (Tynjälä 1999). Metakognitiivisten taitojen taustalla on ajatus siitä, että tieto omista älyllisistä voimavaroista, ajattelutavoista ja strategioista sekä tieto erilaisista ongelmaratkaisutilanteista ja tehtävistä vaikuttavat tiedon käsittelyyn ja tapaamme toimia (Hakkarainen ym. 2001). Täten oppilaita tulisi ohjata asteittain lisääntyvään oppimisen itsesäätelyyn. Opiskelun alkuvaiheessa ulkoinen opettajan tuki ja kontrolli ovat tärkeitä, mutta niitä voidaan vähentää oppimaan oppimisen, metakognitiivisten taitojen ja itseohjauksen kasvamisen myötä (Tynjälä 1999).

Konstruktivismissa painottuu merkitysten rakentaminen, ja tästä johtuen oppimisessa ymmärtämisellä on keskeinen rooli (Tynjälä 1999, Puolimatka 2002, Rauste-Von Wright ym. 2003, Jeronen 2005). Vain ymmärretty tieto on mielekästä, merkityksellistä tietoa. Täten konstruktivistisessa oppimiskäsitystä mukailevassa opetus-oppimisprosessissa pyritään välttämään mekaanista ulko-opettelua. Faktoiden nimeäminen on pitkälle kuulunut perinteisen kouluopetuksen luonteeseen. Konstruktivistisessä oppimiskäsityksessä ei väitetä, ettei tiettyjen faktoiden oppiminen olisi tärkeää ja ettei siinä voisi edelleen tarvittaessa käyttää ulko-opettelua. Kuitenkin ajatellaan, että faktat opitaan parhaiten silloin, kuin ne kytetään oppilaiden aikaisempaan tietoon, laajempiin kokonaisuuksiin ja todellisen elämän tilanteisiin ja ongelmiin. Opetuksen painopisteen pitäisi olla faktoiden kuvaamisessa, selittämisessä, syy-seuraussuhteiden analysoinnissa ja kritisoinnissa.

2.1.4. Sosiokonstruktivistinen oppimiskäsitys

Sosiokonstruktivistinen oppimiskäsitys on osa konstruktivistisen oppimiskäsityksen laaja-alaista kenttää (Kauppila 2007). Sosiokonstruktivistinen oppimiskäsitys koostuu sosiaalisesta konstruktionismista, jossa korostetaan yksilöllisen tiedon erilaisia muotoja ja niiden kehittymistä yhteisöllisen vuorovaikutuksen kautta, sekä sosiaalisesta konstruktivismista, jossa käsitellään yhteisöllisen tiedon tasoja ja tieteellisen tiedon kehittymistä. Sosiokonstruktivistinen oppimiskäsitys pitää oppimista laaja-alaisena prosessina, johon kuuluvat esimerkiksi itseohjautuvuus, sisäinen ja ulkoinen reflektio, symboliset interaktiot, yhteistyö, sosialisaatioprosessi, identiteetin kehitys ja arvopäämäärien hahmottaminen.

Sosiokonstruktivistisessä oppimiskäsityksessä tiedon rakentuminen ja oppiminen nähdään tapahtuvan vuorovaikutusten ja sosiaalisten suhteiden välityksellä, kuten ihmisten välisen keskustelun kautta (Tynjälä 1999, Kauppila 2007). Oppija hahmottaa

ilmiöitä omakohtaisesti, mutta vahvistaa jo oppimaansa sosiaalisessa vuorovaikutuksessa. Sosiaalisen vuorovaikutuksen kautta oppija voi ulkoistaa omaa ajatteluaan ja näin reflektoida oppimaansa muiden ajatteluun. Sosiaalisessa vuorovaikutuksessa oppija voi myös saada sosiaalista tukea muilta tai antaa sitä toisille. Oppimisen sosiaalisuutta ja vuorovaikutuksellisuutta pyritään hyödyntämään ja tehostamaan erilaisilla yhteistoiminnallisilla opiskelumuodoilla, esimerkiksi järjestetään mahdollisuuksia tiedon jakamiseen, keskusteluun, neuvotteluun, erilaisten tulkintojen esittämiseen tai argumentointiin.

2.2. Oppimisen tilannesidonnaisuus ja siirtovaikutus

Oppimisen tilannesidonnaisuus on tutkijoiden piirissä laajasti hyväksytty asia (Tynjälä 1999, Rauste-Von Wright ym. 2003). Tietojen ja taitojen opettelemiseen liittyy kuitenkin odotus siitä, että niitä pystytään käyttämään laajemminkin kuin vain siinä kontekstissa, jossa ne on opittu. Tietojen ja taitojen siirtoa kontekstista toiseen kutsutaan siirtovaikutukseksi.

On tiedostettu, että yhdessä tilanteessa opitut asiat eivät ole helposti sovellettavissa toiseen tilanteeseen (Rauste-Von Wright ym. 2003). Tällöin metakognitiivisten taitojen merkitys korostuu (Hakkarainen ym. 2001). Oppiminen ja oman toiminnan säätely ja ohjaaminen ovat vahvasti sidoksissa siihen tilanteeseen, jossa kyseiset tiedot ja taidot on opittu (Hakkarainen ym. 2001, Rauste-Von Wright ym. 2003). Metakognitiivisista tiedoista ja taidoista voi tulla eräänlaista yleistynyttä tietoa ja toimintamalleja, joita voidaan uusissa ongelmaratkaisutilanteissa hyödyntää. Esimerkiksi kun lapset osallistuvat toistuvasti toimintaan, jossa pyritään pohtimaan, selittämään, perustelemaan ja arvioimaan jotakin ilmiötä tai asiaa, he omaksuvat vähitellen ajattelumallit ja -tavat, joiden varassa he lähestyvät uusia oppimistehtäviä.

Oppimisympäristön, joka edistää oppimisen siirtovaikutusta, tulisi olla ongelmanratkaisua ja oleellisten ongelmien löytämistä tukevaa kulloinkin käsillä olevasta asiasta (Rauste-Von Wright ym. 2003). Keskeistä on, että oppija itse löytää tai hänet ohjataan löytämään kulloinkin opittavana olevan kokonaisuuden ydinilmiöt, esittämään kysymyksiä siitä, mikä tässä on oleellista ymmärtää ja mitä olisi opittava, jotta ymmärtäisi ilmiön kokonaisuuden.

3. SYSTEEMIAJATTELU

3.1. Mikä on systeemi?

Käsite systeemi voidaan määritellä seuraavasti: ”Järjestelmää merkitsevä systeemi on todennäköisesti lainattu suomeen ruotsin sanasta *system*, mutta alkuaan sana juontuu latinan sanasta *systēma* ’kokonaisuus, järjestelmä’. Latinan *systēma* perustuu kreikan sanaan *sy̅stēma* ’yhdistäminen, yhdistys, kokonaisuus’, joka on johdos verbistä *synhístānai* ’yhdistää’. Tämä tarkoittaa sananmukaisesti yhteen asettamista” (Häkkinen 2004).

Systeemi on aina kokonaisuus, ja systeemit koostuvat osista, jotka ovat vuorovaikutuksessa keskenään (Ossimitz 1997, Willamo 2005). Muutos systeemin yhdessä osassa voi aiheuttaa isojakin muutoksia koko systeemissä. Dynaaminen käyttäytyminen ajallisesti on usein systeemille ominaista. Jokaisella systeemillä on myös raja ympäröivän ympäristönsä kanssa. Raja voi olla materiaalinen, kuten iho ihmisellä tai materiaaliton, kuten esimerkiksi jäsenyys sosiaalisessa ryhmässä. Rajat ovat tärkeitä siksi, että yhteys systeemin ja sen ympäristön kautta tapahtuu rajojen välityksellä. Systeemi voidaan myös usein jakaa osasysteemeihin.

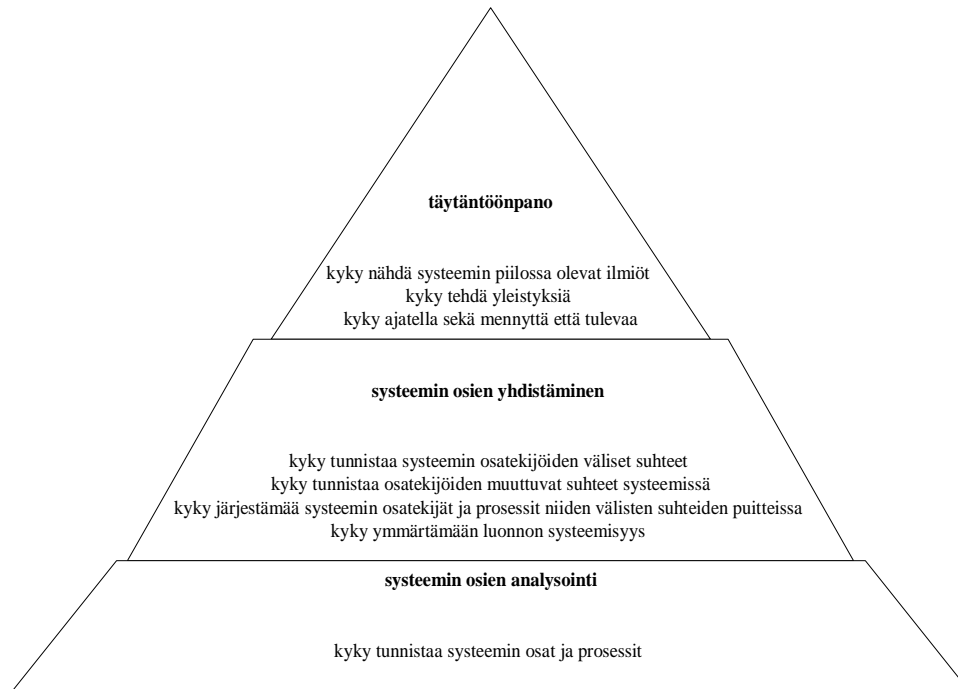
Keloharju (1989) kuvaa systeemien ominaisuuksia seuraavien käsiteparien avulla, joita ovat rajoittunut ja kompleksinen, mekaaninen ja systeeminen sekä avoin ja

suljettu. Systeemi on kompleksinen, jos muuttujien määrä on suuri. Systeemi on systeeminen, jos osien väliset vuorovaikutukset ovat tärkeitä, ja systeemi on avoin, jos sillä on runsaasti vuorovaikutusta ympäristönsä kanssa ja sen rajat eivät ole tarkat.

3.2. Systeemiajattelutaidot

Kritiikki reduktionismia vastaan viime vuosisadan alkupuolella synnytti systeemiajattelun käsitteen (Bets ym. 2003). Reduktionismissa ajatellaan, että paras tapa ymmärtää jokin ilmiö on se, että ilmiö hajotetaan osiin ja tarkastellaan, miten nämä osat toimivat. Systeemiajattelussa vastakohtaisesti ajatellaan, että koko maailma on systeeminen ja sen osat ovat vuorovaikutuksessa keskenään ja kokonaisuus on tärkeämpi kuin sen osien summa. Viime vuosisadalla systeemiajattelun perusajatuksesta on kehitelty erilaisia systeemiteoreettisia variaatioita (Seddon & Caulkin 2007). Niitä ovat esimerkiksi kova systeemiajattelu (hard systems thinking), järjestelmädynamiikka (systems dynamics), pehmeä systeemiajattelu (soft systems thinking) ja postmoderni systeemiajattelu (postmodern systems thinking). Kaikille näille kuitenkin yhteistä on se, että systeemit koostuvat osista, jotka ovat vuorovaikutuksessa keskenään. Nyky-yhteiskunnassa systeemiteoreettisia lähestymistapoja käytetään eri osa-alueilla laajasti. Esimerkiksi teollisuuden tuotantoprosesseja pohditaan systeemiteoreettisten lähestymistapojen kautta (Seddon & Caulkin 2007). Eri organisaatioiden esimerkiksi koulujen ja yritysten rakenteita sekä johtamisstrategioita tarkastellaan systeemiteoreettisista näkökulmista (Betts 1992, Clegg ym. 2005). Lääketieteessä, yhteiskuntatieteissä, psykologiassa ja matematiikassa on myös käytössä systeemiteoreettisia menetelmiä (Kali ym. 2003).

Systeemiajattelu luokitellaan korkeamman tason ajattelun taidoiksi (Frank 2000). Se pohjautuu konstruktivismiin, koska systeemiajattelutaidot sisältävät arviointia omasta oppimisesta (Ossimitz 2000, Evagorou ym. 2009, Assaraf & Orion 2010). Luovuutta ja kekseliäisyyttä sekä tietoa rakennetaan vanhan tiedon pohjalle, eikä oppimiseen ja ajattelun kehittymiseen riitä perinteinen faktojen ulkoa opettelu. Systeemiajattelutaidot sisältävät myös kognitiivisia ja metakognitiivisia taitoja (Hung 2008). Assaraf ja Orion (2005 ja 2010) ovat tutkimuksissaan koonneet olemassa olevasta teoreettisesta lähdeaineistosta kahdeksan keskeistä kykyä ja taitoa, jotka systeemiajattelutaidot pitävät sisällään. Nämä kahdeksan kykyä he määrittivät kolmitasoiseksi hierarkkiseksi pyramidimalliksi, joka kuvaa, miten systeemiajattelutaidot kehittyvät asteittain siten, että ylempi taso pitää aina sisällään alemman tason taidot (Kuva 2). Hierarkkinen pyramidi etenee siten, että ensimmäisellä tasolla on systeemin osien analysointi; kyetään tunnistamaan systeemin osat ja prosessit. Toisella tasolla on systeemin osien yhdistäminen; kyetään tunnistamaan systeemin osatekijöiden väliset suhteet, osatekijöiden muuttuvat suhteet systeemissä, kyetään järjestämään systeemin osatekijät ja prosessit niiden välisten suhteiden puitteissa sekä kyetään ymmärtämään luonnon systeemisyyttä. Kolmannella tasolla on täytöntöönpano; kyetään näkemään systeemin piilossa olevat ilmiöt, tekemään yleistyksiä ja ajattelemaan sekä menneitä että tulevaa.



Kuva 2. Systeemiajattelutaitojen hierarkkinen pyramidimalli: Systeemiajattelutaitojen kehittyminen asteittain siten, että ylempi taso pitää aina sisällään alemman tason taidot (Assaraf & Orion 2005 ja 2010).

3.3. Systeemiajattelutaidot koulumaailmassa

Riessin & Mischo (2010) mukaan systeemiajattelutaitojen edistäminen kouluissa sai alkunsa vuonna 1992 Rio de Janeirossa pidetyn YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssin kestävä kehityksen keskusteluista. Lähtökohtaisesti ajateltiin, jotta oppilaat voisivat aktiivisesti osallistua kestäväan kehitykseen, heidän pitäisi osata tunnistaa ja ymmärtää monimutkaisia, globaaleja yhteyksiä. Kuitenkaan systeemiajattelutaitoja ja niiden kehittymistä luonnontieteiden opetuksessa sekä sitä, kuinka oppilaat oppivat monimutkaisia systeemejä, ei ole tutkittu kovinkaan laaja-alaisesti (Kali ym. 2003, Hmelo-Silver & Azevedo 2006, Evagorou ym. 2009).

Nykypäivän oppilaat elävät maailmassa, jossa heidän ympärillään on yhä enemmän monimutkaisia, dynaamisia, itsestään organisoituvia ja alati muuttuvia systeemejä (Assaraf & Orion 2010). Esimerkiksi monet kouluissa opettavat biologiset ilmiöt, kuten ekosysteemien rakenne ja toiminta, ovat monimutkaisia systeemisii ilmiöitä (Hogan 2000, Riess & Mischo 2010). Yleisesti tiedetään, että monimutkaisten systeemien ymmärtäminen on vaikeaa (Hmelo-Silver & Azevedo 2006). Niiden pohtiminen ja ymmärtäminen kuormittavat valtavasti työmuistia, koska niiden opetuksessa usein keskitytään vain muistamaan ja nimeämään systeemin eri osia. Kuitenkin monet tieteelliset tekstikirjat ja oppikirjat esittävät asiat pelkkinä listattuina faktoina ja jättävät suuret kokonaisuudet

huomioimatta. Näin ne osaltaan vaikeuttavat oppilaiden kehitystä systemaattisten ja monimutkaiset ilmiöiden ymmärtämisessä (Viiri 2000, Assaraf & Orion 2010). Monimutkaisten systeemien oppimiseen vaaditaan myös kognitiivisia, metakognitiivisia ja sosiaalisia resursseja, jotka varsinkin nuorilla oppilailta eivät välttämättä ole pitkälle kehittyneet (Hmelo-Silver & Azevedo 2006). Ei siis ole yllättävää, että moni ymmärtää monimutkaisen systeemin vain kokoelmana sen osia ilman laajempaa käsitystä systeemin toiminnasta.

Systeemiajattelutaitoja on kuitenkin mahdollista kehittää jo ala- ja yläkouluikäisillä oppilailta (Wylie ym. 1998, Kali ym. 2003, Assaraf & Orion 2005, Evagorou ym. 2009, Assaraf & Orion 2010, Riess & Mischo 2010). Systeemiajattelutaitoja voidaan kehittää koulumaailmassa esimerkiksi rohkaisemalla oppilaita yhteistyöhön, keskusteluun ja reflektioon sekä tekemällä monimutkaisista systeemisistä ilmiöistä malleja, teoreettisia käsitteitä ja kokemuseräisiä (Hmelo, Holton & Kolodner 2000, Hung 2008, Jacobson & Wilensky 2006). Näin voidaan tarjota oppilaille mahdollisuus kokea monimutkainen systeeminen ilmiö niin, että se edesauttaa heidän ontologista ja käsiteellistä ymmärrystä. Systeemisten ilmiöiden avaaminen helposti ymmärrettävien kehyksien kautta, kuten keskittymällä ilmiön keskeisiin käsitteisiin, edesauttaa myös systeemiajattelun kehittymistä. Tietokonepohjaiset simulaatiot ja pelit ovat myös hyvä tapa kehittää systeemiajattelutaitoja (Ozzimitz 2000, Hogan & Thomas 2001, Sheehy ym. 2000, Hmelo-Silver & Azevedo 2006, Riess & Mischo 2010). Tietokonesimulaatioilla voidaan kätevästi mallintaa, kuinka monimutkainen systeemi toimii. Voidaan myös kiinnittää huomiota esimerkiksi systeemin ajallisten muutosten sekä syy-seuraussuhteiden tarkasteluun.

4. REHEVÖITYMINEN

4.1. Rehevöitymisen määritelmä

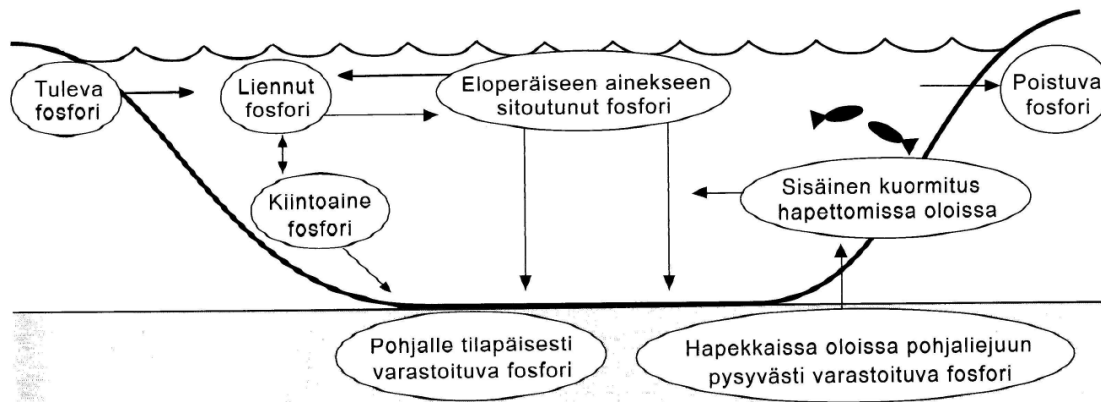
Rehevöityminen tarkoittaa ravinteiden, erityisesti typen ja fosforin lisääntymisestä johtuvan perustuotannon kasvua vesissä (Tirri ym. 2001). Perustuotannon kasvu voi johtaa helposti hapen puutteeseen tai happikatoon, koska lisääntynyt järven eliöstö kuluttaa yhä enemmän happea. Hapettomissa oloissa pohjasedimentistä vapautuu lisää ravinteita (sisäinen kuormitus) ja rehevöitymisestä tulee itse itseään ylläpitävä ilmiö. Vesien rehevöitymistä pidetään Suomessa ongelmana esimerkiksi tiiviin rantakasvillisuuden, särkikalojen ja sinilevien lisääntymisen takia (Lyytimäki & Hakala 2008).

Suomessa on noin 56 000 yli hehtaarin suuruista järveä, joiden yhteenlaskettu pinta-ala on noin 33 600 km² (Särkkä 1996). Suomessa on luonnostaan sekä reheviä että karuja järviä (Lyytimäki & Hakala 2008, Valtion ympäristöhallinto 2010). Valuma-alueen ollessa suuri ja runsasravinteinen vesistökin on varsin rehevää. Karuimpia järviä ovat kallioiset ylänköjärvet, joihin valuma-alueelta ei tule ravinteita. Muutos karusta järvestä reheväksi voi tapahtua ilman ihmisen osuutta asiaan, mutta ihmisen toiminta nopeuttaa tätä prosessia. Järven rehevyystaso määritellään kasviplanktonin nettotuotannon avulla: mitä suurempi tuotanto, sitä rehevämpi järvi.

Ihmistoiminnan aiheuttamaa rehevöittävää ravinnekuormitusta kutsutaan ulkoiseksi kuormitukseksi ja se voidaan edelleen jakaa haja- ja pistekuormitukseksi (Särkkä 1996, Lyytimäki & Hakala 2008, Valtion ympäristöhallinto 2010). Hajakuormituksella tarkoitetaan esimerkiksi maa- ja metsätaloudesta, liikenteestä, ilmansaasteista ja viemäriverkoston ulkopuolisesta asutuksesta syntyviä ravinnekuormituksia. Pistekuormituksella tarkoitetaan esimerkiksi teollisuudesta, yhdyskuntien jätevesistä, kalankasvatuksesta, turkistarhauksesta ja turvetuotannosta vapautuvia ravinnekuormituksia. Valtion ympäristöhallinnon (2010) laskelmien mukaan fosforia vapautui vuonna 2008

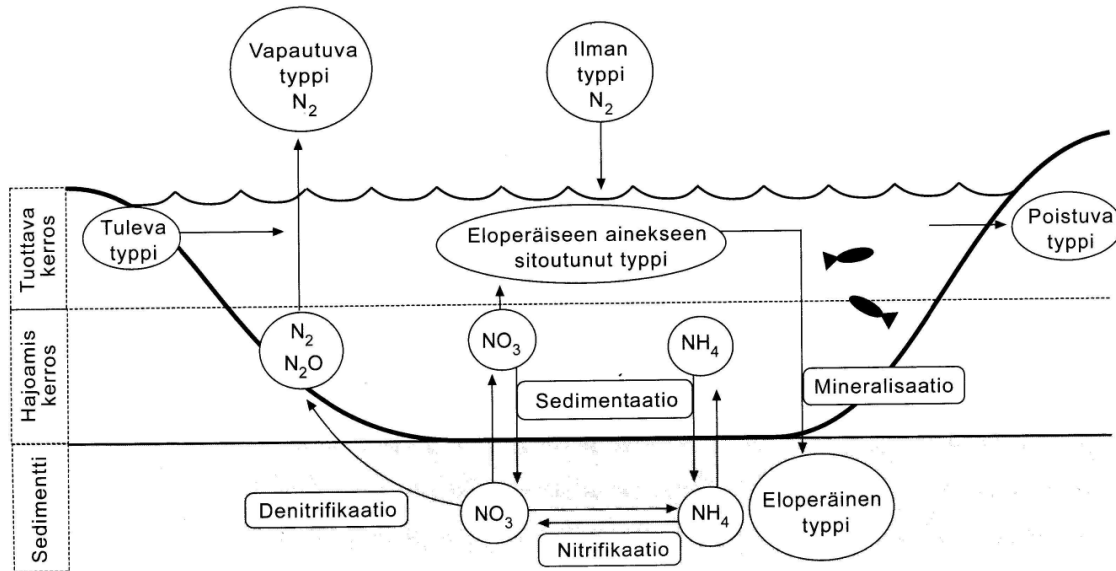
Suomessa hajakuormituksesta 3336 t/a ja typpeä 45253 t/a. Pistekuormituksesta vapautuu fosforia 544 t/a ja typpeä 16164 t/a.

Fosfori (P) esiintyy tavallisesti vesissä hyvin pieninä pitoisuuksina, ja se on myös minimitekijä vesikasvien ja levien kasvulle (Särkkä 1996, Kalff 2002). Sisävesissä fosfori esiintyy vedessä liuenneena fosfaattifosforina, liuenneena orgaanisena fosforina, hiukkasmaisessa muodossa sestonissa ja pohjasedimentissä erilaisina yhdisteinä esimerkiksi ferrifosfaattina (Kuva 3). Neutraalissa tai jonkin verran emäksisessä ympäristössä fosfori esiintyy kalsiumfosfaattina ja happamassa ympäristössä yhtyneenä rautaan. Kasviplankton ja vesikasvit voivat käyttää ainoastaan fosfaattimuodossa olevaa fosforia. Hapekkaassa ympäristössä ja raudan läsnä ollessa fosfaattimuodossa oleva fosfori muodostaa veteen heikosti liukenevan 3-arvoisen ferrifosfaatin, joka sedimentoituu pohjalle. Happipitoisuuden laskiessa alle 0.5 mg/l ja hapetus-pelkistysasteen (redox-potentiaali) laskiessa alle ~200 mV ferrirauta pelkistyy ferroraudaksi ja fosfori vapautuu vesiliukoisessa muodossa pohjasedimentistä.



Kuva 3. Fosforin kiertokulku vesistöissä (Lyytimäki & Hakala 2008).

Vesiekosysteemissä typpeä (N) on veteen liuenneena kaasumaisessa muodossa (ammoniumina, nitraattina, nitriittinä, ureana) ja orgaanisina yhdisteinä sekä pohjasedimentissä hiukkasmaisessa muodossa sitoutuneena orgaaniseen ainekseen (Särkkä 1996, Kalff 2002). Typpiyhdisteitä muodostuu salamoinnin seurauksena, tulivuoren purkauksista, maaperän orgaanisen aineksen hajoamisesta mikrobitoiminnan seurauksena, maataloudesta sekä teollisuuden ja liikenteen päästöistä ja palamistuotteista. Mikrobiologiset prosessit säätelevät typen kiertoa sedimentissä (Kuva 4). Mikrobit hajottavat orgaanisen typen lähinnä liukoiseksi ammonium-typeksi. Ammonium-typpi voi vapautua pohjasta veteen, mutta se voi myös nitrifikaation seurauksena hapettua liukoiseksi nitraatti-typeksi, joka alhaisissa happipitoisissa voi vapautua pohjasedimentistä veteen. Nitraatti-typpi puolestaan voi pelkistyä mikrobiologisesti typpikaasuksi denitrifikaatioissa. Veteen vapautunut ammonium- ja nitraatti-typpi ovat leville käyttökelpoisia.



Kuva 4. Typpien kiertokulku vesistöissä (Lyytimäki & Hakala 2008).

4.2. Järvien rehevöitymisprosessin pääpiirteet

Rehevöitymisprosessissa lisääntyneiden ravinnepäästöjen takia ensimmäisenä kasviplankton sekä rantakiviä ja kalaverkkoja limaavat levät alkavat lisääntyä (Särkkä 1996, Lyytimäki & Hakala 2008, Valtion ympäristöhallinto 2010). Kasviplanktonin elinkierto on lyhyt, ja se elää täysin veteen liuenneiden ravinteiden varassa. Tämän takia kasviplankton reagoi nopeasti minimitekijöiden muutoksiin. Ravinteiden lisääntyminen johtaa kasviplanktonin, eläinplanktonin, kalojen ja kasvillisuuden lisääntymiseen, jolloin myös kuolleen orgaanisen aineksen määrä lisääntyy ja hapen kulutus järvestä kasvaa lisääntyneen hajotustoiminnan seurauksena. Lisääntynyt hapenkulutus voi johtaa happikatoon. Happikadon riski on tyypillisesti suurimmillaan talvikerrostuneisuuden loppuvaiheessa, mutta alusveden happi saattaa olla loppumaisillaan myös kesäkerrostuneisuuden päättyessä. Hajotustoiminnan seurauksena ravinteita sedimentoituu järven pohjaliejuun. Hapettomissa olosuhteissa erityisesti fosforia vapautuu pohjasedimentistä takaisin veteen. Tätä kutsutaan sisäiseksi kuormitukseksi. Tällöin rehevöitymisestä tulee itse itseään ylläpitävä ilmiö, jota on vaikea saada hallintaan.

5. AINEISTO JA MENETELMÄT

5.1. Tutkimuksen lähtökohdat ja aikataulu

Tutkimuksen aineisto kerättiin Jyväskylän normaalikoululla keväällä 2010 kuudennen jakson biologian oppitunneilla (Taulukko 1). Tutkimukseen osallistui kaksi seitsemättä luokkaa; systeemi luokka, jolle rehevöityminen opetettiin systeemiajattelua tukevalla opetusmenetelmällä ja normaaliluokka, jolle rehevöityminen opetettiin perinteistä opettajajohtoista opetusmenetelmää käyttäen. Työn lopulliseen aineistoon kuuluivat oppilaat, jotka osallistuivat alkumittaukseen, oppitunneille, loppumittaukseen ja kurssikokeeseen (systeemi luokka n=18 ja normaaliluokka n=13).

Taulukko 1. Aineiston keruu Jyväskylän normaalikoululla keväällä 2010.

Pvm.	Käytetty aika	Ohjelma
20.4.	10 min	Alkumittaukset: systeemi luokka ja normaaliluokka
27.4.	2 x 45 min	Systeemiajattelua tukevat oppitunnit: systeemi luokka
28.4.	45 min	Perinteinen oppitunti: normaaliluokka
29.4.	45 min	Perinteinen oppitunti: normaaliluokka
18.5.	10 min	Loppumittaukset: systeemi luokka ja normaaliluokka
25.5.	45 min	Kurssikoe: systeemi luokka ja normaaliluokka

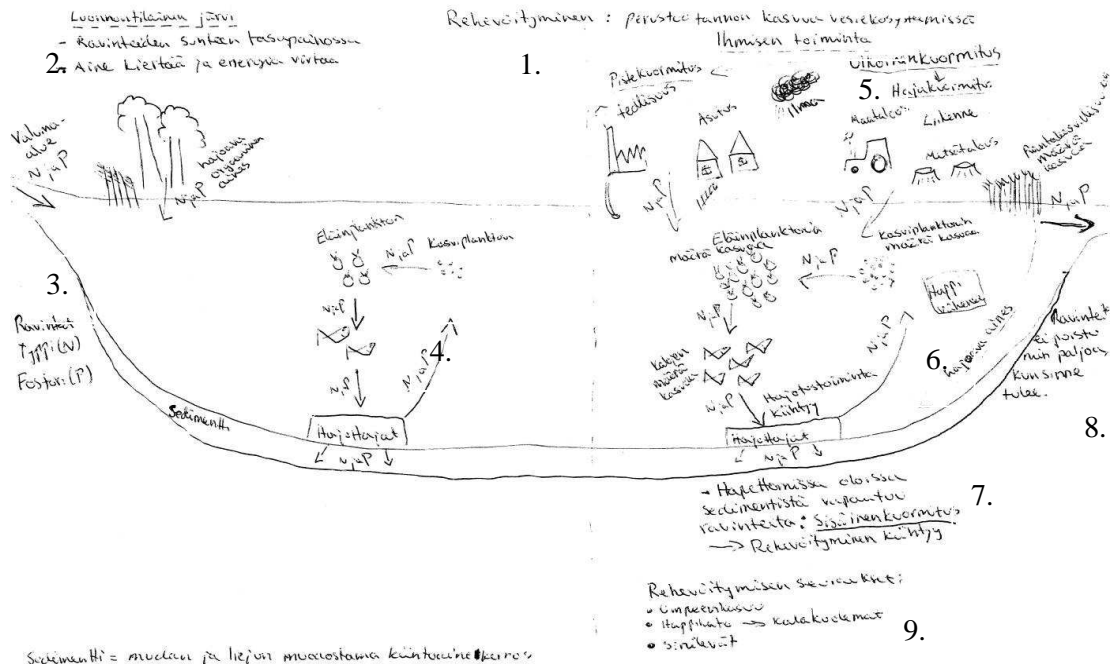
5.2. Systeemiajattelua tukevat oppitunnit: Systeemi luokka

5.2.1. Systeemiajattelua tukevien oppituntien perusta

Systeemiajattelutaitoja kehittävät oppitunnit perustuivat sosiokonstruktiiiviseen oppimiskäsitykseen. Opetuksen tavoitteena oli kehittää oppilaiden systeemiajattelutaitoja perinteisin opettajalla käytössä olevin opetusvälinein. Opetuksessa keskeisenä metodina käytettiin rehevöitymisprosessin kuvaamista piirroksen avulla, koska piirrokset tarjoavat hyvän tavan avata tietoa monimutkaisista ilmiöistä. Piirroksien avulla voidaan tarkastella ilmiötä kokonaisuutena ja kiinnittää huomiota ilmiössä oleviin vuorovaikutussuhteisiin ja syy-seuraussuhteisiin, jotka ovat tärkeitä kehitettäessä systeemiajattelutaitoja. Koska tiedetään, että systeemiajattelutaitojen kehittämiseen vaikuttavat esimerkiksi oppilaan metakognitiiviset taidot, pyrittiin tunneista luomaan oppimisprosessin kokonaismalli, joka vaikuttaisi oppilaiden tapaan käsitellä tietoa ja toimia. Systeemisten ilmiöiden tarkastelussa tämä tarkoittaa sitä, että ymmärretään systeemin olevan kokonaisuus, joka koostuu osista, jotka ovat vuorovaikutuksessa keskenään.

5.2.2. Oppituntien eteneminen

Oppitunnit vietiin läpi käyttäen kyselevää opetusta siten, että opettaja piirsi dokumenttikameran avulla A4-kokoiselle paperille pohjakuvan järvestä. Oppilaat täydensivät pohjakuvaan vaiheittain rehevöitymisprosessiin kuuluvat osatekijät. Kuvassa 5 on näkyvissä rehevöitymisprosessin eri vaiheet.



Kuva 5. Systemiluokalla piirretty rehevöitymisprosessin kokonaiskuva.

Ensimmäinen oppitunti aloitettiin motivaatiokuvalla (Kuva 6). Kuvan tarkoitus oli johdatella oppilaat päivän aiheeseen kysymyksellä: Mitä kuva tuo mieleen?



Kuva 6. Ensimmäisten oppituntien aloituksen motivaatiokuva (Leinonen 2011).

Vaihe 1. Motivoinnin jälkeen kuvan 2 ylälaitaan kirjoitettiin otsikko ”Rehevöityminen” ja oppilailta kysyttiin, mitä termi tarkoittaa ja miten se määritellään. Oppilaiden vastausten perusteella ja opettajan avustuksella määritelmäksi kirjoitettiin ”perustuotannon kasvua vesiekosysteemissä”. Tämän jälkeen paperille piirrettiin järven poikkileikkaus ja jaettiin kuva puoliksi.

Vaihe 2. Vasemmalle puolelle kuvaa 2 kirjoitettiin otsikoksi ”Luonnontilainen järvi” ja alettiin tarkastella, mitä luonnontilaisessa järvessä tapahtuu. Oppilaille kerrottiin, että Suomessa on luonnostaan karuja ja reheviä järviä ja että tämä luonnontilainen järvi edustaa vain sellaista järveä, johon ihmistoiminta ei vaikuta.

Vaihe 3. Ensiksi määriteltiin tärkeimmät kasviravinteet Typpi (N) ja Fosfori (P). Oppilailta tiedusteltiin, mihin kasvit ja muut eliöt niitä tarvitsevat. Sitten ruvettiin yhdessä pohtimaan,

mistä luonnontilaiseen järveen tulee ravinteita. Päädyttiin tulokseen, että niitä tulee valuma-alueelta ja rannalla kasvavien kasvien hajoavasta orgaanisesta aineksesta. Oppilaille kerrottiin myös, mitä valuma-alue tarkoittaa.

Vaihe 4. Seuraava asia oli miettiä, mitä ravinteille tapahtuu järvessä. Mietinnän tulos oli, että ravinteet kiertävät osana ravintoketjuja ja -verkkoja. Järveen merkittiin yksinkertainen ravintoketju, jossa lenkkeinä olivat kasviplankton, eläinplankton, kalat ja hajottajat. Pohdittiin sitä, mitä ravinteille tapahtuu ravintoketjussa ja todettiin, että ravinteet siirtyvät lenkistä toiseen ja hajottajat vapauttavat osan ravinteista takaisen veteen ja osan pohjasedimenttiin. Todettiin myös, että aineet kiertävät ja energia virtaa ravintoketjuissa. Määritettiin, mitä sedimentti tarkoittaa: Sedimentti on mudan ja liejun muodostama kiintoainekerros.

Ensimmäisen tunnin lopuksi tarkasteltiin vielä, mistä ravinteet poistuvat järvestä. Otsikon alle määritettiin yksinkertaistaen, että luonnontilainen järvi on ravinteiden suhteen tasapainoinen.

Vaihe 5. Toisen tunnin alussa oli ensimmäisenä tehtävänä miettiä, mitä vaikutuksia ihmisen toiminnalla on järven rehevöitymiseen. Listattiin ihmistoiminnan ravinnelähteiksi teollisuus, asutus, maatalous, metsätalous, liikenne ja ilmansaasteet. Määriteltiin nämä ulkoiseksi kuormitukseksi sekä jaettiin ravinnelähteet pistekuormitukseksi ja hajakuormitukseksi.

Vaihe 6. Seuraavana tarkastelun aiheena oli se, mitä vaikutuksia ulkoisella ravinnekuormituksella on järven ravintoketjuun. Vastaukseksi saatiin, että kasviplanktonin, eläinplanktonin, kalojen ja hajottajien sekä rantakasvillisuuden määrä kasvaa.

Vaihe 7. Biomassan kasvun seurauksena alettiin tarkastella, mitä happitilanteelle järvessä tapahtuu. Pohdinnan tulos oli, että hapenkulutus järvessä kasvaa. Tässä kohtaa myös oppilailta tiedusteltiin, mistä järveen tulee happea. Todettiin, että sitä tulee suoraan ilmasta ja kasvien yhteyttämisestä. Seuraavaksi pohdittiin, mitä vaikutuksia hapen vähenemisellä ja happikadolla on järven rehevöitymiseen. Päätelmä oli, että hapettomissa oloissa sedimentissä olevat ravinteet alkavat vapautua järviveteen. Tämä määriteltiin sisäiseksi kuormitukseksi, joka kiihdyttää rehevöitymistä entisestään.

Vaihe 8. Pohdinnan aiheena oli, poistuuko järvestä yhtä paljon ravinteita kuin sinne tulee. Tulos oli, ettei poistu, koska ravinteet ovat kiinni järven biomassassa. Todettiin myös, että rehevöitynyt järvi ei ole ravinteiden suhteen tasapainoinen.

Vaihe 9. Viimeiseksi listattiin vielä rehevöitymisen äärimmäisiä seurauksia. Niitä ovat järven umpeenkasvu, happikato ja kalakuolemat sekä sinilevähaitat.

Toisen tunnin lopuksi, kun piirros (Kuva 5) oli saatu valmiiksi, katsottiin muutama minuutti Itämeren tilaa käsittelevää videota. Lopuksi oppilaille annettiin kotitehtävä. Tehtävänä oli lukea oppikirjan sivu 94 ja pohtia, miten järven rehevöitymistä voidaan hillitä (Leinonen, Nyberg, Veistola & Kuisma 2004). Sivulla 94 kerrotaan, kuinka järviä voi suojella monin tavoin.

5.3. Perinteiset oppitunnit: Normaaliluokka

5.3.1 Perinteisten oppituntien perusta

Suunnitellessani perinteistä oppituntia lähtökohtana oli ajatus, että perinteinen oppitunti voi nykykoulussa olla opettajajohtoista esittävää ja kyselevää opetustyyliä noudatteleva. Opetus tukeutuu oppikirjaan, oppilaat kirjoittavat muistiinpanoja vihkoon, tekevät harjoitustehtäviä ja yhdessä katsotaan kyseessä olevasta aiheesta jokin video. Ajatuksena oli, että perinteiset oppitunnit myötäilevät behavioristista oppimiskäsitystä.

Kartoittaakseni, miten rehevöitymistä Suomen peruskouluissa seitsemäsluokkalaisille opetetaan, lähetin Biologian ja maantieteen opettajien liiton BMOL ry:n kautta sähköpostikyselyn biologian ja maantieteen opettajille. Kyselyssä tiedustelin, millainen on kyselyyn osallistujan perinteinen oppitunti seitsemäsluokkalaisille rehevöitymisestä. Millaisia työskentelytapoja tunnilla käytetään? Kirjoittavatko oppilaat muistiinpanoja vihkoon? Tehdäänkö harjoitustehtäviä? Katsotaanko aihetta käsitteleviä videoita? Piirretäänkö aiheesta havainnollistavia kuvia? Kuinka paljon aikaa rehevöitymisen opettamiseen käytät? Kyselyyn vastasi kahdeksan opettajaa eri puolilta Suomea.

Vastauksista ilmeni, että yleisesti rehevöitymistä pidetään vaikeana asiana seitsemäsluokkalaisille. Muutamissa vastauksissa todettiin, että rehevöityminen opetetaan vasta ylemmillä luokka-asteilla. Tätä perusteltiin sillä, että rehevöitymisen ymmärtämiseen tarvitaan fysiikan ja kemian ymmärtämistä. Havaittavissa kuitenkin oli, että monet opettajat opettavat rehevöitymistä opettajajohtoisesti niin, että oppilaat kirjoittavat muistiinpanoja vihkoon ja tekevät harjoitustehtäviä. Yhdessä katsotaan kuvia ja videoita sekä saatetaan piirtää jokin kaavakuva tai täydentää valmista kaavapohjaa. Muutamat opettajat kytkivät rehevöitymisen tunnille, jossa käydään läpi ravintoverkkoa ja planktonnäytteitä. Aikaa rehevöitymisen opettamiseen keskimäärin käytetään 1–2 oppituntia.

Kyselyn pohjalta valmistelin oppitunnit; oppilaat kirjoittivat muistiinpanot vihkoon PowerPoint-kalvoilta (Liite 1) ja tekivät itsenäisiä harjoitustehtäviä. Tunneilla katsottiin myös noin 15 minuutin video Itämeren tutkimuksesta ja tilasta. Video käsittelee rehevöitymistä. Opetus oli opettajajohtoista kyselevää ja esittävää opetusta. Asiasisällön pidin samana kuin systeemiajattelua tukevilla oppitunneilla. Pyrin siihen, ettei perinteisistä oppitunneista tule mitenkään tiedon suhteen huonompia.

5.3.2. Oppituntien eteneminen liitteen 1 mukaan

Vaihe 1. Ensimmäinen tunti aloitettiin samalla motivaatiokuvalla kuin systeemiajattelua tukevilla tunneilla (Kuva 6). Oppilailta kysyttiin, mikä on päivän aihe ja mitä kuva tuo mieleen?

Vaihe 2. Vihkoon otsikoitiin rehevöityminen ja tarkasteltiin kuvasta (katso liite 1), mitä rehevöitymisen merkkejä siinä näkyy. Seuraavaksi tarkasteltiin oppikirjan sivulta 6 kuvia karuista ja rehevistä järvistä ja pohdittiin, millaisia järviä Suomessa luontaisesti esiintyy (Leinonen ym. 2004).

Vaihe 3. Tämän jälkeen määriteltiin rehevöityminen: Kasvien perustuotannon kasvua vesiekosysteemissä, joka johtuu lisääntyneestä ravinteiden saatavuudesta. Määriteltiin myös tärkeimmät kasviravinteet Typpi (N) ja Fosfori (P). Lisäksi pohdittiin, mihin esimerkiksi ihminen tarvitsee kyseisiä ravinteita.

Vaihe 4. Sitten pohdittiin, mitä luonnontilaisessa järvessä tapahtuu ja mistä sinne tulee ravinteita. Määriteltiin ravinnelähteiksi valuma-alueen ja rantakasvillisuuden hajoava orgaaninen aines. Oppilaille selvitettiin myös, mitä valuma-alue tarkoittaa, mutta siitä ei

kirjoitettu muistiinpanoa vihkoon. Sitten kysyttiin oppilailta, mitä ravinteille järvessä tapahtuu. Pohdinnan tulos oli, että ravinteet kiertävät järven ravintoketjuissa. Kirjoitettiin vihkoon ravintoketju: kasviplankton, eläinplankton, kalat ja hajottajat. Mietittiin myös, mitä hajottajat tekevät. Mietinnän tulos oli, että hajottajat vapauttavat osan ravinteista takaisin järven veteen ja osa sedimentoituu järven pohjalle. Lopuksi todettiin, että luonnontilainen järvi on ravinteiden suhteen tasapainossa. Kysyttiin myös oppilailta, mitä tämä tarkoittaa?

Vaihe 5. Seuraavaksi katsottiin noin 15 minuutin video Itämeren tilasta, jossa tutkijat kertovat Itämeren rehevöitymisestä ja osaltaan Itämeren tilan tutkimisesta. Ensimmäisen tunnin lopuksi oppilaille annettiin kotitehtävä.

Vaihe 6. Opetusjakson toinen tunti aloitettiin tarkastamalla kotitehtävä.

Vaihe 7. Kotitehtävän tarkastamisen jälkeen alettiin pohtia ihmisen toiminnan vaikutuksia järven rehevöitymiseen. Määriteltiin ulkoinen kuormitus, joka jaettiin piste- ja hajakuormitukseksi. Pistekuormitukseen listattiin teollisuus ja asutus. Hajakuormitukseen listattiin metsätalous, maatalous, ilmansaasteet ja liikenne.

Vaihe 8. Katsottiin kuvat (katso liite 1) ihmistoiminnasta johtuvista fosfori- ja typpipäästölähteistä. Kyseisistä kuvista tutkittiin oppilaiden kanssa, mitkä päästölähteet ovat merkittävimpiä.

Vaihe 9. Seuraavaksi mietittiin yhdessä, mitä vaikutuksia lisääntyneillä ravinnemäärillä on järven ravintoketjuun. Todettiin, että kasviplanktonin, eläinplanktonin, kalojen ja hajottajien määrä kasvaa. Pohdittiin myös, mitä hajotustoiminnalle tapahtuu. Tuloksena on, että hajotustoiminta kiihtyy. Oppilailta kysyttiin, mitä järven happitilanteelle tapahtuu. Todettiin, että happi vähenee lisääntyneen hajotustoiminnan ja biomassan takia ja voi tulla happikato erityisesti talvisin. Oppilailta myös tiedusteltiin, mistä järveen tulee happea ja miksi juuri talvisin voi ilmetä happikatoa. Seuraavaksi määriteltiin sisäinen kuormitus eli ravinteiden vapautuminen pohjasedimentistä hapettomissa oloissa ja pohdittiin, mitä siitä seuraa. Tämän jälkeen todettiin, että järvi ei ole ravinteiden suhteen tasapainossa eli ravinteita ei poistu järvestä niin paljon kuin sinne tulee.

Vaihe 10. Viimeiseksi listattiin rehevöitymisen äärimmäisiä seurauksia, joita ovat happikato, kalakuolemat, sinilevät ja järven umpeenkasvu.

Vaihe 11. Tunnin lopuksi annettiin kotitehtävä.

5.4. Alku- ja loppumittaus sekä koekysymys

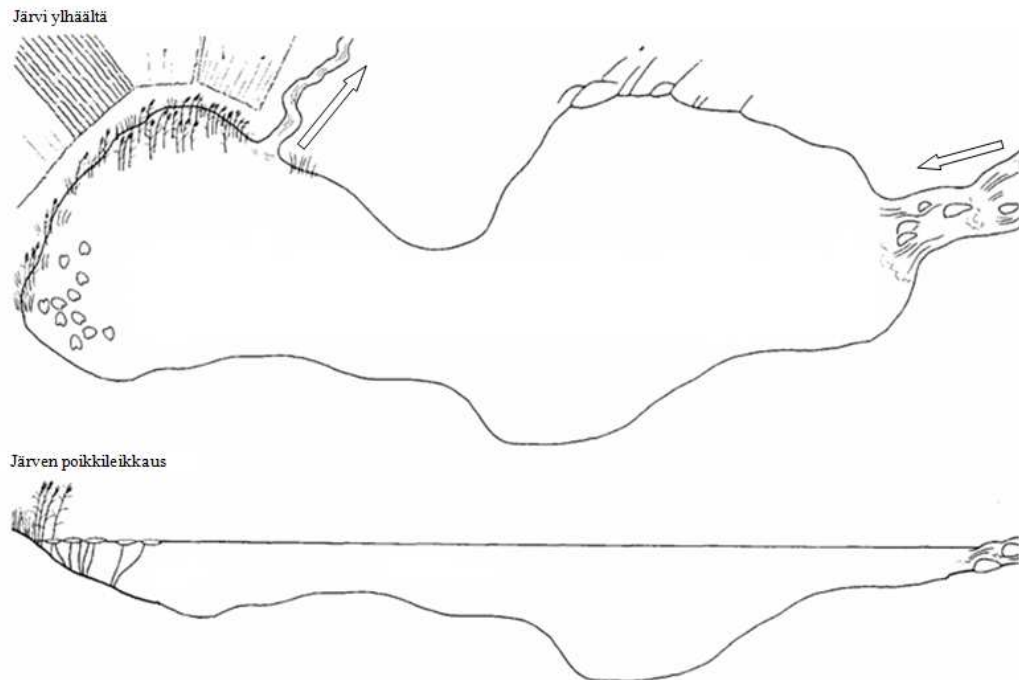
5.4.1. Alku- ja loppumittaus

Oppilaiden ymmärrystä tieteellisistä käsitteistä voidaan esimerkiksi selvittää taidokkaasti suunnitelluilla avoimilla, suljetuilla, suullisilla ja kirjoitetuilla kysymyksillä (Dove, Evert & Preece 1999). Näiden laajalti käytettyjen metodien lisäksi yksi hyvä tapa selvittää oppilaiden ajatuksia on käyttää piirrostehtäviä. Yleisesti tiedetään, että varsinkin alakoulukäiset oppilaat pitävät piirrostehtävistä luonnontieteiden tunneilla. Piirroksien hyödyllisyys ilmenee siinä, ettei se paljasta opettajalle pelkästään, mitä oppilas on ajatellut vaan kuinka hän on ajatellut (Reiss & Tunnicliffe 2001, Bessette 2007). Piirrostehtävien kautta voi myös saada käsitystä oppilaiden kognitiivisesta, affektiivisesta ja sosiaalisesta kehityksestä sekä selvittää niiden oppilaiden ajatuksia, joilla on vaikeuksia esittää ajatuksensa sanallisesti (Rennie &

Jarvis 1995, Dove ym. 1999, Bowker 2007). Piirrostehtävät ovat myös kätevä tapa kerätä tietoa siitä, kuinka oppilaat ymmärtävät systeemisiä ilmiöitä (Martin 2005) Alku- ja loppumittauksen rakenteen tavoitteena oli, että se antaa mahdollisimman kattavan kuvan oppilaan rehevöitymisen osaamisesta ja samalla paljastaa hänen systeemiajattelutaitojensa tason. Alku- ja loppumittauksen kysymyksen asettelu tehtiin niin, että se antaa oppilaalle vapaat kädet kirjoittaa ja piirtää oman vastauksensa (Kuva 7).

NIMI _____

Selosta kuviin järven rehevöityminen. Mitkä tekijät siihen vaikuttavat ja mitä rehevöitymisprosessissa tapahtuu? Voit piirtää kuvia ja käyttää sanallisia selityksiä.



Kuva 7. Alku- ja loppumittauksessa käytetty tehtävänanto: Selosta kuviin järven rehevöityminen.

5.4.2. Koetehtävä

Oppilaan ajattelua, tiedon strukturointia sekä tiedon kriittistä arviointia ja oleellisten asioiden pohtimista pystytään arvioimaan kirjoitelmilla eli esseillä (PalMBERG 2005). Opettaja pystyy hyvästä esseevastauksesta arvioimaan, pystyykö oppilas kuvaamaan ilmiötä monipuolisesti, tarkasteleeko oppilas syy- ja seuraussuhteita ja miten oppilas pystyy soveltamaan tietoaan. Koetehtävä pyrittiin laatimaan niin, että tehtävä A paljastaa, ymmärtääkö oppilas lähteä avaamaan vastausta rehevöitymisen kautta, ja jos näin tekee, niin ilmeneekö vastuksesta, että rehevöityminen on systeeminen ilmiö (Kuva 8). Tehtävä B:llä pyrittiin selvittämään, kuinka syvällisesti rehevöityminen on ymmärretty.

Taulukko 2. Systeemiajattelutaitojen kehittymisen tasot.

	Systeemiajattelutaidot	Hierarkkinen taitojen kehitys	Rehevöitymisen osaaminen
Taso 1	Ei systeemiajattelua	Ei taitoja	Ei ymmärrä rehevöitymisestä / Tyhjä paperi
Taso 2	Ei systeemiajattelua	Ei taitoja	Suuria puutteita ja virheitä rehevöitymisen ymmärtämisessä
Taso 3	Orastavaa systeemiajattelua	1. Kyky tunnistaa systeemin osat ja prosessit	Rehevöityminen ymmärretään pääpiirteittäin. Puutteita ja virheitä vastauksesta ilmenee
Taso 4	Systeemiajattelua ilmenee	2. Kyky tunnistaa systeemin osatekijöiden väliset suhteet. 3. Kyky tunnistaa osatekijöiden muuttuvat suhteet systeemissä, 4. Kyky järjestää systeemin osatekijät ja prosessit niiden välisten suhteiden puitteissa 5. Kyky ymmärtää luonnon systeemisyyttä	Ymmärrys rehevöitymisestä kokonaisuutena, puutteita ja virheitä voi ilmetä
Taso 5	Selkeää systeemiajattelua	6. Kyky nähdä piilossa olevat ilmiöt systeemissä, 7. Kyky tehdä yleistyksiä 8. Kyky ajatella sekä mennyttä että tulevaa.	Rehevöityminen ymmärretään kokonaisuutena, ei puutteita eikä virheitä

5.5.2. Rehevöitymisen ja koetehtävän osaamisen arviointi

Rehevöitymisen osaamista alkua- ja loppumittauksessa arvioitiin poimimalla oppilaiden vastauksista rehevöitymisprosessin osatekijöitä (Taulukko 3). Kokeen osaamista arvioitiin poimimalla oppilaiden vastauksista koevastauksen osatekijöitä niin, että tehtävät A ja B tarkasteltiin yhtenä kokonaisuutena (Taulukko 3).

Taulukko 3. Rehevöitymisprosessin ja koevastauksen osatekijät.

	Rehevöitymisen osatekijät	Koevastauksen osatekijät
Termit	Ravinne-termiä ei tiedetty / käytetty Ravinne sekoitettu ravintoon Ravinne mainittu oikein (Typpi ja Fosfori)	Kalat kuolleet hapen puutteeseen Järvi on rehevöitymässä / rehevöitynyt Ihmistoiminnan ravinnepäästöt
Rehevöitymiseen vaikuttaa	Ihmistoiminnan ravinnepäästölähteet / Ulkoinen kuormitus Liikenne Maatalous Ilmansaasteet Teollisuus Metsätalous Asutus Rehevöittävät aineet (ulosteet, shampoo, pesuaineet, lannoitteet, ym.) Fysikaaliset ominaisuudet (valo, lämpötila) Järven fyysiset ominaisuudet (syvyys, koko, veden virtaus, pohjan laatu, veden laatu)	Kasvi- ja eläinplanktonin / planktonin yleensä määrän lisääntyminen Kalojen määrän lisääntyminen Kasvien määrän lisääntyminen Levien määrän lisääntyminen Hajotustoiminnan lisääntyminen Ravinteiden vapautuminen takaisin veteen Ravinteiden sedimentoituminen Hapen väheneminen / happikato järvessä Sisäinen kuormitus Järvi ei ole tasapainoinen ravinteiden suhteen
Ravinteiden lisäyksestä seuraa	Vaikutus ravintoketjuun / Järven biomassan lisäys Kasvi- ja eläinplanktonin / yleensä planktonin määrän lisääntyminen Kalojen määrän lisääntyminen Kasvien määrän lisääntyminen Levien määrän lisääntyminen Hajotustoiminnan lisääntyminen Ravinteiden vapautuminen takaisin veteen Ravinteiden sedimentoituminen järven pohjalle Hapen väheneminen / happikato Sisäinen kuormitus Järvi ei ole tasapainossa ravinteiden suhteen / Järveen tulee enemmän ravinteita kuin sieltä lähtee Järven umpeenkasvu / soistuminen Hapenpuutteesta johtuvat kalakuolemat	Järven talviset olosuhteet, ei happea ilmasta, eikä yhteyttämällä

5.6. Tilastolliset testit

Oppilaiden vastaukset alku- ja loppumittauksessa sekä kokeessa sijoitettiin eri systeemiajattelutaitojen tasoille. Luokkien väliset erot systeemiajattelutaidoissa alku- ja loppumittauksessa sekä kokeessa testattiin ei-parametrisellä Mann-Whitneyn U-testillä. Systeemiajattelutaitojen kehittymistä luokkien sisällä alku- ja loppumittauksen, alkumittauksen ja kokeen sekä kokeen ja loppumittauksen välillä testattiin ei-parametrisellä Wilcoxonin testillä. Oppilaiden rehevöitymisen osaamista alku- ja loppumittauksessa arvioitiin rehevöitymisprosessin osatekijöiden esiintymisellä vastauksissa. Kokeessa osaamista arvioitiin koevastauksen osatekijöiden esiintymisellä oppilaiden vastauksissa. Rehevöitymisen osaamisen eroa alku- ja loppumittauksessa luokkien välillä sekä kokeessa

osaamista testattiin parametrisellä riippumattomien ryhmien t-testillä. Kehittymistä rehevöitymisen osaamisessa luokkien sisällä alku- ja loppumittauksen välillä testattiin parametrisellä verrannollisten parien t-testillä. Tilastolliset testit tehtiin SPSS Statistic 17.0 –ohjelmalla.

6. TULOKSET

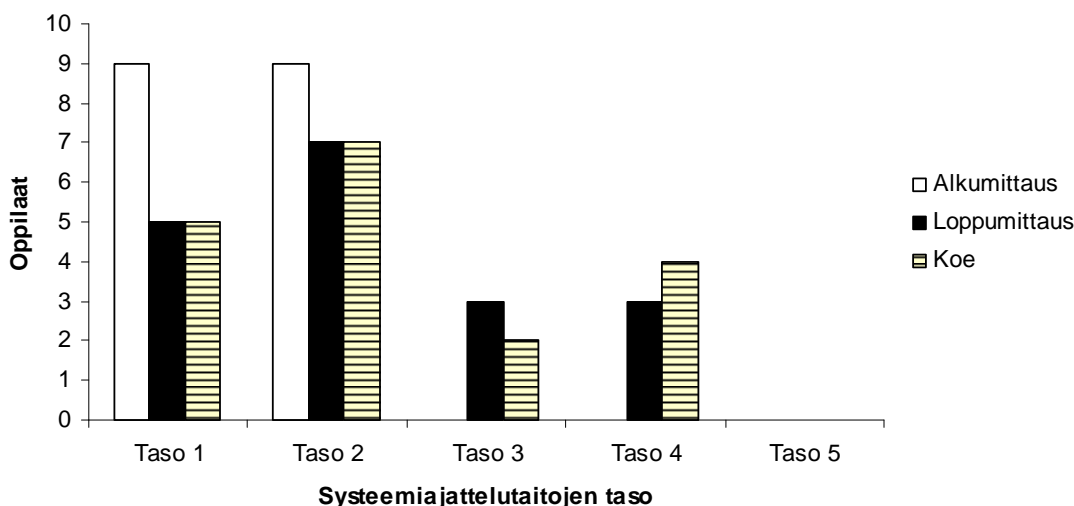
6.1. Oppilaiden sijoittuminen systeemiajattelutaitojen tasoihin alkumittauksessa, loppumittauksessa ja kokeessa

Alkumittauksessa sekä systeemi- (N=18) että normaaliluokalta (N=13) tasolle yksi sijoittui noin puolet oppilaista (Kuvat 9 ja 10). Tasolle kaksi sijoittui 50 % systeemiluokkalaisista ja normaaliluokkalaisista 39 %. Normaaliluokalta tasolle kolme sijoittui yksi oppilas. Systeemiajattelutaidoissa luokat eivät eronneet alkumittauksen perusteella toisistaan (Taulukko 4).

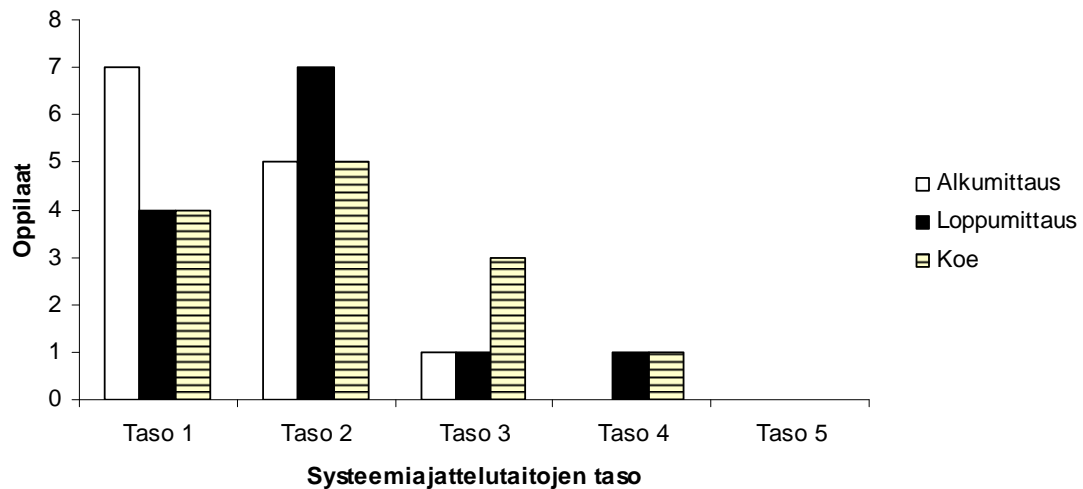
Eri opetusmenetelmin pidettyjen oppituntien jälkeen tehdyissä loppumittauksissa systeemi- ja normaaliluokka eivät myöskään eronneet systeemiajattelutaidoissa toisistaan (Taulukko 4). Prosentuaalisesti systeemiluokalta ja normaaliluokalta tasolle yksi sijoittui n. 30 % oppilaista (Kuvat 1 ja 2). Systeemiluokalta tasolle kaksi sijoittui 39 % ja normaaliluokalta 54 % oppilaista. Tasolle kolme ja neljä, joilla ilmenee systeemiajattelutaitoja, normaaliluokalta sijoittui 16 % oppilaista ja systeemiluokalta 34 % oppilaista.

Kokeessa systeemiajattelutaidoissa systeemi- ja normaaliluokka eivät eronneet toisistaan (Taulukko 4). Prosentuaalisesti systeemi- ja normaaliluokalta tasolle yksi sijoittui n. 30 % ja tasolle kaksi n. 40 % oppilaista (Kuvat 9 ja 10). Tasolle kolme systeemiluokalta sijoittui 11 % ja tasolle neljä 22 % oppilaista. Normaaliluokalta tasolle kolme sijoittui 23 % ja tasolle neljä 8 % oppilaista.

Tasolle viisi ei sijoittunut yksikään oppilas alkumittauksessa, loppumittauksessa eikä kokeessa.



Kuva 9. Systeemiluokan oppilaiden sijoittuminen systeemiajattelutaitojen tasolle alkumittauksessa, loppumittauksessa ja kokeessa.



Kuva 10. Normaaliluokan oppilaiden sijoittuminen systeemiajattelutaitojen tasoille alkumittauksessa, loppumittauksessa ja kokeessa.

Taulukko 4. Luokkien väliset erot systeemiajattelutaidoissa alku- ja loppumittauksessa ja kokeessa. Testisuure (U) ja tilastollinen todennäköisyys (p) (Mann-Whitney-U-testi).

	U	p
Alkumittaus	117	1,000
Loppumittaus	99,5	0,455
Koe	107,5	0,69

6.2. Systeemiajattelutaitojen kehitys alku- ja loppumittauksen, alkumittauksen ja kokeen sekä loppumittauksen ja kokeen välillä

Alku- ja loppumittauksen sekä alkumittauksen ja kokeen välillä systeemiajattelutaidoissa systeemi luokalla tapahtui kehitystä (Taulukko 5). Alkumittauksessa oppilaat sijoituivat vain tasoille yksi ja kaksi, joilla ei ilmene systeemiajattelutaitoja, mutta loppumittauksessa tasoille kolme ja neljä, joilla ilmenee systeemiajattelutaitoja, sijoittui jo 34 % ja kokeessa 33 % oppilaista (Kuva 9). Loppumittauksen ja kokeen välillä systeemi luokalla ei tapahtunut kehitystä systeemiajattelutaidoissa (Taulukko 5).

Normaaliluokalla systeemiajattelutaidoissa ei tapahtunut kehitystä alku- ja loppumittauksen välillä (Taulukko 5). Kehitystä kuitenkin tapahtui alkumittauksen ja kokeen välillä. Normaaliluokalla yhtä oppilasta lukuunottamatta kaikki sijoituivat alkumittauksessa tasoille yksi ja kaksi, mutta kokeessa 31 % oppilaista sijoittui tasoille kolme ja neljä (Kuva 10). Loppumittauksen ja kokeen välillä ei normaaliluokalla tapahtunut kehitystä systeemiajattelutaidoissa (Taulukko 5).

Taulukko 5. Systeemiajattelutaitojen kehitys alku- ja loppumittauksen, alkumittauksen ja kokeen sekä kokeen ja loppumittauksen välillä. Testisuure (Z), tilastollinen todennäköisyys (p) ja oppilaiden määrä luokalla (N) (Wilcoxonin testi).

	Systeemi luokk a (N=18)		Normaaliluokka (N=13)	
	Z	p	Z	p
Alkumittaus - Loppumittaus	-2,804	0,005	-1,667	0,096
Alkumittaus - Koe	-2,697	0,007	-2,111	0,035
Loppumittaus - Koe	-0,159	0,873	-1,000	0,317

6.3. Rehevöitymisen osaaminen alku- ja loppumittauksessa

Rehevöitymisen osaamista arvioitiin keräämällä oppilaiden vastauksista rehevöitymisprosessin osatekijöitä (Taulukko 7). Taulukossa 7 on yhdistettynä molempien luokkien vastaukset alku- ja loppumittauksessa eri systeemiajattelutaitojen tasoilla. Tämän aineiston perusteella tarkasteltavat luokat eivät eronneet rehevöitymisen osaamisen suhteen toisistaan alkumittauksessa eivätkä loppumittauksessa; kehitystä rehevöitymisen osaamisessa tapahtui ainoastaan systeemiluokalla alku- ja loppumittauksen välillä (Taulukko 6).

Taulukko 6. Rehevöitymisen osaamisen erot alku- ja loppumittauksessa ja kehitys rehevöitymisen osaamisessa alku- ja loppumittauksen välillä systeemiluokalla ja normaaliluokalla. Testisuure (t) ja tilastollinen todennäköisyys (p) (riippumattomien ryhmien t-testi ja verrannollisten parien t-testi)

	t	p
Erot rehevöitymisen osaamisessa		
Alkumittaus	1,113	0,275
Loppumittaus	1,225	0,230
Rehevöitymisen osaamisen kehitys		
Alkumittaus - Loppumittaus (Systeemiluokka)	-3,000	0,008
Alkumittaus - Loppumittaus (Normaaliluokka)	-1,951	0,075

Taulukko 7. Rehevöitymisen osatekijöiden esiintyminen molemmat luokat yhdistettynä oppilaiden vastauksissa systeemiajattelutaitojen tasoilla alku- ja loppumittauksessa.

Rehevöitymisen osatekijät systeemiajattelutaitojen tasoilla alku- ja loppumittauksessa		Taso 1 (N=25)	Taso 2 (N=28)	Taso 3 (N=5)	Taso 4 (N=4)
Termit	Ravinne-termiä ei tiedetty / käytetty	16	7	0	0
	Ravinne sekoitettu ravintoon	9	2	0	1
	Ravinne mainittu oikein (Typpi ja Fosfori)	9	21	5	4
Rehevöitymiseen vaikuttaa	Ihmistöiminnan ravinnepäästölähteet / Ulkoinen kuormitus				
	Liikenne	0	7	2	4
	Maatalous	4	15	4	4
	Ilmansaasteet	0	2	1	
	Teollisuus	1	3	3	4
	Metsätalous	0	1	0	1
	Asutus	0	3	2	3
	Rehevöittävät aineet (ulosteet, shampoo, pesuaineet, lannoitteet, ym.)	8	18	1	3
	Fysikaaliset ominaisuudet (valo, lämpötila)	6	2	0	1
	Järven fyysiset ominaisuudet (syvyys, koko, veden virtaus, pohjan laatu, veden laatu)	7	14	0	0
Ravinteiden lisäyksestä seuraa	Vaikutus ravintoketjuun / Järven biomassan lisäys				
	Kasvi- ja eläinplanktonin / yleensä planktonin määrän lisääntyminen	0	1	4	3
	Kalojen määrän lisääntyminen	1	2	4	2
	Kasvien määrän lisääntyminen	18	23	5	4
	Levien määrän lisääntyminen	3	2	1	
	Hajotustoiminnan lisääntyminen	0	0	2	1
	Ravinteiden vapautuminen takaisin veteen	0	0	0	1
	Ravinteiden sedimentoituminen järven pohjalle	0	0	0	2
	Hapen väheneminen / happikato	0	5	2	3
	Sisäinen kuormitus	0	0	0	0
	Järvi ei ole tasapainossa ravinteiden suhteen / Järveen tulee enemmän ravinteita kuin sieltä lähtee		1	3	2
	Järven umpeenkasvu / soistuminen	1	10	2	3
	Hapenpuutteesta johtuvat kalakuolemat	0	2	1	3

6.4. Koevastauksen osaamisen erot

Kokeessa osaamisen tasoa arvioitiin koevastauksen osatekijöiden ilmentymisellä oppilaiden vastauksissa eri systeemiajattelutaitojen tasoilla (Taulukko 8). Molemmat luokat menestyivät kokeessa yhtä hyvin, eivätkä ne eronneet tilastollisesti toisistaan (Riippumattomien ryhmien t-testi, $t = 0,078$, $p = 0,938$).

Taulukko 8. Koevastauksen osatekijät systeemiajattelutaitojen tasoilla systeemiluokka ja normaaliluokka yhdistettynä.

Koevastaus	Taso 1 (N=9)	Taso 2 (N=12)	Taso 3 (N=5)	Taso 4 (N=5)
Kalat kuolleet hapen puutteeseen	8	11	5	5
Järvi on rehevöitymässä / rehevöitynyt	2	10	5	5
Ihmistoiminnan ravinnepäästöt	0	4	1	3
Kasvi- ja eläinplanktonin / planktonin yleensä määrän lisääntyminen	0	1	1	4
Kalojen määrän lisääntyminen	0	4	4	4
Kasvien määrän lisääntyminen	1	4	3	4
Levien määrän lisääntyminen	0	0	0	2
Hajotustoiminnan lisääntyminen	0	3	4	5
Ravinteiden vapautuminen takaisin veteen	0	2	0	4
Ravinteiden sedimentoituminen	0	1	0	0
Hapen väheneminen / happikato järvessä	3	10	5	4
Sisäinen kuormitus	0	0	0	0
Järvi ei ole tasapainoinen ravinteiden suhteen	0	0	0	2
Järven talviset olosuhteet, ei happea ilmasta, eikä yhteyttämällä	5	5	5	5

6.5. Tyypilliset vastaukset alku- ja loppumittauksessa ja kokeessa

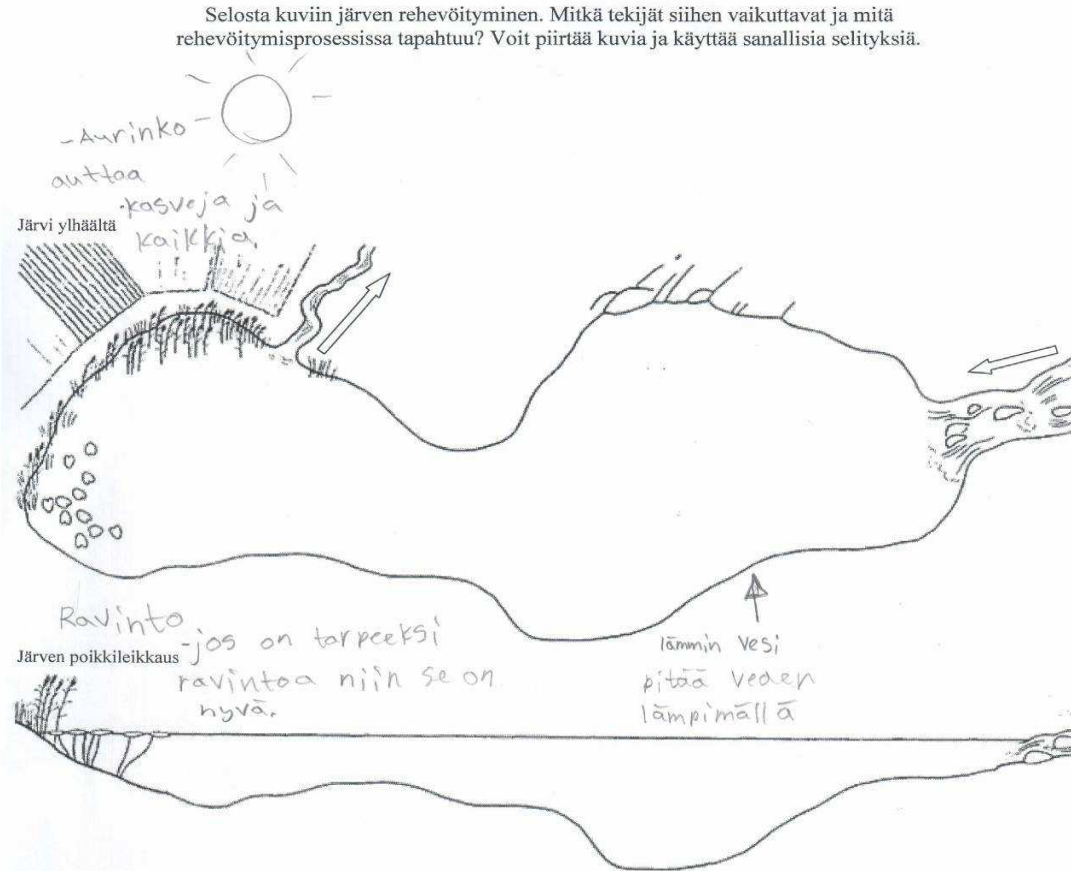
6.5.1. Rehevöitymisen osaaminen ja systeemiajattelutaitojen ilmeneminen tason yksi vastauksissa alkumittauksessa, loppumittauksessa ja kokeessa

Tasolla yksi rehevöitymisprosessia ei ymmärretty eikä systeemiajattelutaitoja ilmennyt. Satunnaisia rehevöitymisen osatekijöitä mainittiin. Tason yksi vastauksia oli alku- ja loppumittauksessa 25 ja kokeessa 9.

Alku- ja loppumittauksessa tason yksi vastauksissa 64 % oppilaista ei tiennyt tai ei osannut käyttää termiä ravinne ja 36 % oppilaista sekoitti ravinteen termiin ravinto (Taulukko 7). Termiä ravinne käytettiin oikein 36 % vastauksista. Ihmistoiminnan aiheuttamista ravinnepäästölähteistä tiedettiin lähinnä maatalous 16 % ja erilaiset rehevöittävät aineet 32 % vastauksista. Muista osatekijöistä tiedettiin lähinnä järven fysikaaliset ja fyysiset ominaisuudet, jotka oli mainittu 26 % vastauksista. Ravinteiden lisäyksestä johtuvia seurauksia tason yksi vastauksissa tiedettiin huonosti. Lähinnä ainoastaan kasvien määrän lisääntyminen, mikä ilmeni 72 % vastauksista.

Systeemiluokan oppilaan (9) vastaus on tyypillinen tason yksi vastaus alku- ja loppumittauksessa niin systeemiajattelutaitojen kuin rehevöitymisen osaamisen kannalta (Kuva 11). Vastauksesta ilmenee, että oppilaalla on todella puutteelliset tiedot rehevöitymisestä. Oppilas ymmärtää, että auringolla on jotain vaikutusta kasveihin mainitsemalla ”*aurinko auttaa kasveja ja kaikkia*”, mutta vastauksesta ei ilmene, ajatteleeko oppilas auringon vaikuttavan kasvien määrän lisääntymiseen, mikä olisi osa järven rehevöitymistä. Oppilas on kirjoittanut vastaukseen ”*lämmin vesi pitää veden lämpimällä*”. Oppilas ei kuitenkaan ole selittänyt, mikä merkitys veden lämpötilalla on rehevöitymiseen.

Oppilas on myös sekoittanut termin ravinne termiin ravinto. Tosin vastauksesta ei ilmene, liittkö termi ravinto kasveihin vai järven muihin eliöihin.



Kuva 11. Systeemiluokan oppilaan (9) vastaus alkumittauksessa systeemiajattelutaitojen tasolla yksi.

Tason yksi koevastauksissa pääasiallisesti ymmärrettiin, että kalat ovat kuolleet hapen puutteeseen, mikä ilmeni 89 % vastauksista, mutta vain 33 % vastauksista mainittiin, että järvestä on tapahtunut hapen väheneminen / happikato (Taulukko 8). Oppilaista 55 % ymmärsi, että järven talviset olosuhteet vaikuttavat järven happitilanteeseen. Tasolla yksi ei kuitenkaan ymmärretty kytkeä järven huonoa happitilannetta rehevöitymisestä johtuvaksi.

Normaaliluokan oppilaan (11) vastaus on tyypillinen kokeen tason yksi vastaus (Kuva 12). Vastauksessa oppilas kytkee kalakuolemat happikatoon, mikä on oikein, mutta hän ei osaa lähteä avaamaan vastausta rehevöitymisen kautta. Oppilas myös viittaa vastauksessaan järven talvisiin olosuhteisiin mainitsemalla ”ja sitten kun jään läpikään ei mene happea”. Kokeen B-kysymykseen oppilas on jättänyt vastaamatta.

TEHTÄVÄ 11

- A) Eräänä huhtikuuisena kevätaamuna ennen jäidenlähdon aikaa, mökkiläinen Einari päättää tehdä avannon pienehkön mökkijärvensä rantaan. Avannon tehtyään hänen suureksi yllätyksekseen avanto tulvahtaa täyteen kuolleita särkiä. Einari on ihan ymmällään. Selvitä lyhyellä kirjoitelmalla, mitä järvessä on tapahtunut?

Niille ei ole riittänyt tarpeeksi happea ja sitten kun jää lapikään ei mene happea. Sitten ne on kuollut hapettumukseen.

- B) Mitä sisäisellä kuormituksella tarkoitetaan?

Kuva 12. Normaaluokan oppilaan (11) vastaus kokeessa systeemiajattelutaitojen tasolla yksi.

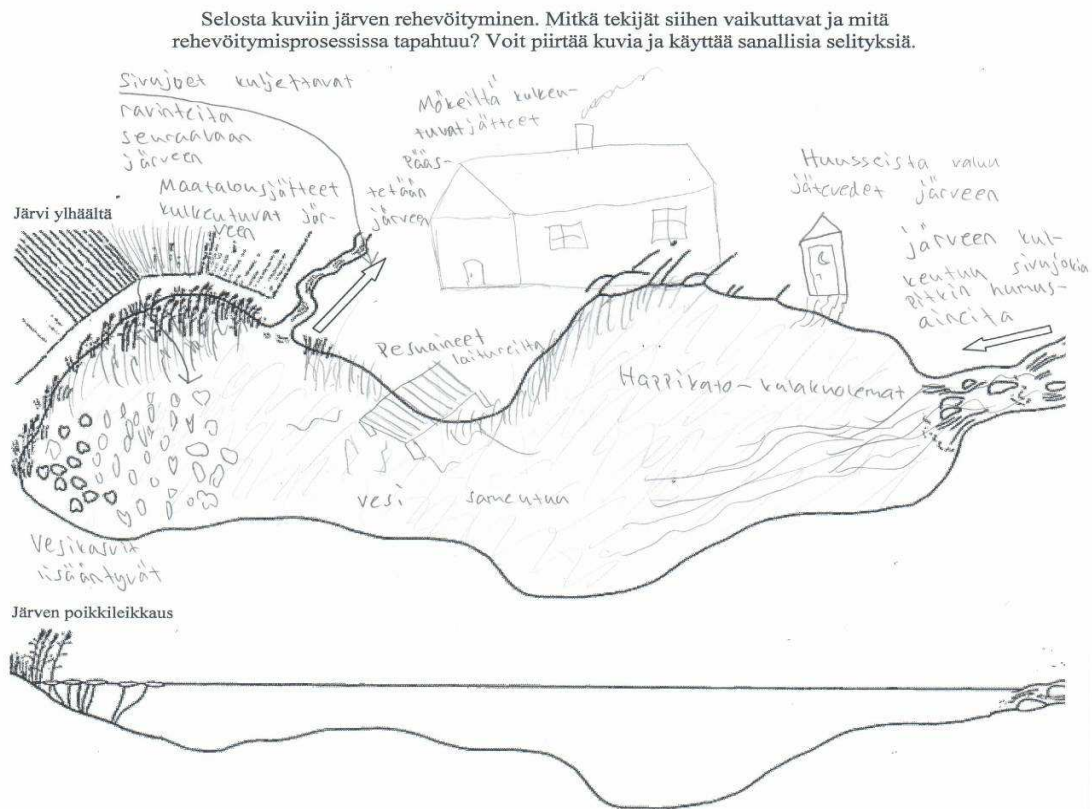
6.5.2. Rehevöitymisen osaaminen ja systeemiajattelutaitojen ilmeneminen tason kaksi vastauksissa alkumittauksessa, loppumittauksessa ja kokeessa

Tasolla kaksi ei ilmennyt systeemiajattelutaitoja ja rehevöitymisen osaaminen oli puutteellista, mutta oppilaat osasivat nimetä satunnaisia rehevöitymisen osatekijöitä paremmin kuin tasolla yksi. Tason kaksi vastauksia oli alku- ja loppumittauksessa 28 ja kokeessa 12.

Yleensä ravinne-termiä käytettiin oikein tasolla kaksi, mikä ilmeni 75 % vastauksista (Taulukko 7). Vain kahdessa vastauksessa ravinne-termi oli sekoitettu termiin ravinto, ja 7 % vastauksista ravinne-termiä ei tiedetty tai käytetty. Rehevöitymiseen vaikuttavista osatekijöistä ihmistoiminnan aiheuttamista ravinnepäästölähteistä tiedettiin lähinnä liikenne 25 %, maatalous 54 % ja erilaiset rehevöittävät aineet 64 % vastauksista. Muista tekijöistä tiedettiin lähinnä järven fyysiset ominaisuudet, mikä ilmeni 50 % vastauksista. Ravinteiden lisäyksestä johtuvia seurauksia tason kaksi vastauksissa tiedettiin myös huonosti. Lähinnä tiedettiin kasvien lisääntyminen 82 %, hapen väheneminen / happikato 18 % ja järven umpeenkasvu / soistuminen 36 % vastauksista.

Normaaluokan oppilaan (5) vastaus edustaa tyypillistä tason kaksi vastausta alku- ja loppumittauksessa (Kuva 13). Vastauksesta ilmenee selkeästi, että oppilas ymmärtää ihmistoiminnalla olevan vaikutusta järven rehevöitymiseen ja että rehevöityvässä järvessä

”vesikasvit lisääntyvät” ja ”vesi samentuu”. Vastauksesta jää tulkinnanvaraiseksi, ymmärtääkö oppilas sen, että ihmistoiminnasta aiheutuviissa päästöissä on kyse ravinnepäästöistä. Hän kuitenkin käyttää termiä ravinne kuvaillessaan, kuinka ”sivujoet kuljettavat ravinteita seuraavaan järveen”, mutta ihmistoiminnan päästöjen yhteydessä hän kuitenkin käyttää termiä jätteet, kuten esimerkiksi ”maatalousjätteet”. Oppilas myös tiedostaa, että happikato ja kalakuolemat liittyvät jotenkin rehevöitymiseen, mutta se, mistä happikato ja kalakuolemat johtuvat, ei vastauksesta selviä.



Kuva 13. Normaaliluokan oppilaan (5) vastaus loppumittauksessa systeemiajattelutaitojen tasolla kaksi.

Oppilaista 83 % tasolla kaksi ymmärsi koevastauksissaan, että järvi on rehevöitymässä / rehevöitynyt ja 92 % oppilaista ymmärsi, että kalat ovat kuolleet hapen puutteeseen (Taulukko 8). Oppilaista 83 % mainitsi, että järvestä on tapahtunut hapen väheneminen / happikato. Rehevöitymisprosessin osatekijöitä ei juurikaan mainittu. Vain noin 30 % oppilaista mainitsi ihmistoiminnan ravinnepäästölähteet, kalojen määrän lisääntymisen, kasvien määrän lisääntymisen ja hajotustoiminnan lisääntymisen. Järven talvisten olosuhteiden vaikutuksen happitilanteeseen mainitsi 42 % oppilaista.

Systeemiluokan oppilaan (16) vastaus on tyypillinen kokeen tason kaksi vastaus (Kuva 14). Oppilas lähtee purkamaan vastausta rehevöitymisen kautta, mutta hän ei kuitenkaan avaa rehevöitymistä vastauksessaan enempää kuin ”järvi on rehevöitynyt

kesällä”. Oppilaan vastauksesta B ilmenee, että hän tiedostaa järven biomassan lisääntymisen liittyvän järven rehevöitymiseen, mutta vastauksesta ei selkeästi ilmene, ymmärtääkö hän, että järven eliöstön määrän on myös pitänyt lisääntyä, jotta hapenkulutuskin kasvaisi ja se johtaisi kalakuolemiin. Hän ajattelee myös, että järven talviset olosuhteet vaikuttavat kalakuolemiin. Hän toteaa myös, että ”kaloille ei riitä tarpeeksi happea vedestä, joten ne joutuvat hakemaan happea ilmasta, mutta kun järvi on jäässä, ne ei pääse sinne ja kuolevat hapen puutteeseen”.

- A) Eräänä huhtikuuisena kevätaamuna ennen jäidenlähdon aikaa, mökkiläinen Einari päättää tehdä avannon pienehkön mökkijärvensä rantaan. Avannon tehtyään hänen suureksi yllätyksekseen avanto tulvahtaa täyteen kuolleita särkiä. Einari on ihan ymmällään. Selvitä lyhyellä kirjoittelulla, mitä järvestä on tapahtunut?

Järvi on rehevöitynyt kesällä. Talvi on tullut. Kaloja on kuollut talven aikana. Pohjassa olevat bakteerit mauttavat kalat, mutta bakteerit tarvitsevat happea siihen jolloin kaloille ei riitä tarpeeksi happea vedestä, joten ne joutuvat hakemaan happea ilmasta, mutta kun järvi on jäässä, ne ei pääse sinne ja kuolevat hapen puutteeseen. Sitten ne ilmestyvät pintaan kun jäät sulaa.

- B) Mitä sisäisellä kuormituksella tarkoitetaan?

Järveen voi tulla liikaa kaloja, kasveja ja kemikaaleja jolloin järvi ei pysty pitämään kaikkea joten jotkut kuolee. Järvi voi myös muuttua suoksi.

Kuva 14. Systeemi luokan oppilaan (16) vastaus kokeessa systeemiajattelutaitojen tasolla kaksi.

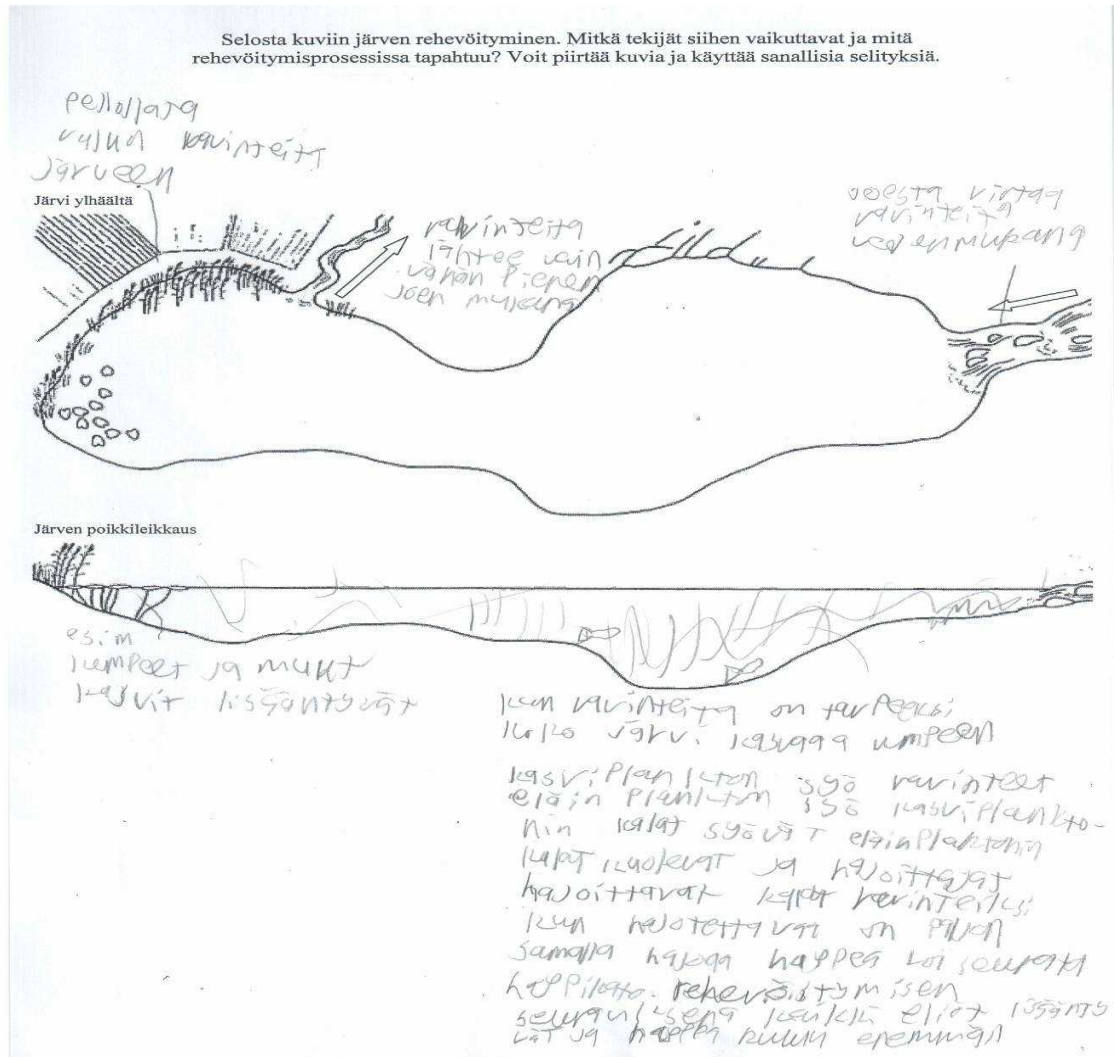
6.5.3. Rehevöitymisen osaaminen ja systeemiajattelutaitojen ilmeneminen tason kolme vastauksissa alkumittauksessa, loppumittauksessa ja kokeessa

Tasolla kolme rehevöitymisen osaamisessa ja systeemiajattelutaidoissa oppilas kykenee tunnistamaan systeemin osia ja prosesseja, sekä hänellä on myös käsitys rehevöitymisestä pääpiirteittäin. Tason kolme vastauksia alku- ja loppumittauksessa oli 5 ja kokeessa 5.

Tasolla kolme alku- ja loppumittauksessa termiä ravinne käytettiin oikein kaikissa vastauksista (Taulukko 7). Ihmistoiminnan ravinne päästölähteitä listattiin hyvin. Liikenne ilmeni 40 %, maatalous 80 %, teollisuus 60 % ja asutus 40 % vastauksista.

Ravinteiden lisäyksestä johtuvia seurauksia tason kolme vastauksissa tiedettiin myös hyvin: kasvi- ja eläinplanktonin / planktonin määrän lisääntyminen 80 %, kalojen määrän lisääntyminen 80 %, kasvien määrän lisääntyminen 100 %, hajotustoiminnan lisääntyminen 40 %, hapen väheneminen / happikato 40 %, järven ravinnetasapainottomuus 60 % ja järven umpeenkasvu 40 % oppilaiden vastauksista.

Normaaliluokan oppilaan (10) vastaus edustaa tyypillistä tason kolme vastausta alku- ja loppumittauksessa (Kuva 14). Oppilaan vastauksesta kuvastuu selkeästi, että hänellä on käsitys rehevöitymisestä pääpiirteittäin, mutta siinä on silti puutteita ja virheitä. Hänen vastauksestaan ilmenee myös, että hän ajattelee rehevöitymisprosessia systeemisenä ilmiönä. Systeemisyys ilmenee siten, että hän on vastauksessaan koonnut rehevöitymisen osatekijöitä ja prosesseja listaamalla, mistä järveen tulee ravinteita: *”joesta virtaa ravinteita veden mukana”* ja *”pellosta valuu ravinteita järveen”*. Hän kuvaa, mitä ravinteille tapahtuu järvessä kytkemällä ravinteiden kierron järven ravintoketjuun: *”kasviplankton syö ravinteet eläinplankton syö kasviplanktonin kalat syövät eläinplanktonin kalat kuolevat ja hajoittajat hajottavat kalat ravinteiksi”*. Hän liittää hapen vähentymisen rehevöitymisestä johtuvaksi, *”kun hajotettavaa on paljon samalla hajoaa paljon happea tai seuraa happikato”*, mutta hän ei kuitenkaan osaa selittää, mikä merkitys happikadolla on järven rehevöitymisen kannalta. Oppilas kuvaa myös ravinteiden poistumista järvestä siten, että *”ravinteita lähtee vain vähän pienen joen mukana”*. Hän ymmärtää, että ravinteita lähtee järvestä pois vähän, mutta ilmeisesti hän ajattelee sen johtuvan joen koosta. Vastauksesta ei siis selkeästi ilmene, ymmärtääkö hän sen, että ravinteita tulee järveen enemmän kuin sieltä lähtee. Oppilas myös ymmärtää, että rehevöitymisprosessissa kasvien ja muiden eliöiden määrä lisääntyy mainitsemalla, että *”esim lumpeet ja muut kasvit lisääntyvät”* ja *”rehevöitymisen seurauksena kaikki eliöt lisääntyvät ja happea kuluu enemmän”*.



Kuva 14. Normaaliluokan oppilaan (10) vastaus loppumittauksessa systeemiajattelutaitojen tasolla kolme.

Jokaisessa tason kolme koevastauksessa vastausta lähdettiin purkamaan rehevöitymisen kautta (Taulukko 8). Rehevöitymisprosessin osatekijöitä listattiin hyvin. Vastauksissa 80 % todettiin kalojen määrän lisääntyminen, 60 % kasvien määrän lisääntyminen ja 80 % hajotustoiminnan lisääntyminen. Kaikissa viidessä vastauksessa mainittiin, että järven happi vähentynyt / tullut happikato. Kaikissa vastauksissa mainitaan myös, että järven talviset olosuhteet vaikuttavat järven happitilanteeseen ja että kalat ovat kuolleet hapen puutteeseen.

Normaaliluokan oppilaan (5) vastaus on tyypillinen kokeen tason kolme vastaus (Kuva 15). Oppilas lähtee purkamaan vastausta rehevöitymisen kautta. Hän ymmärtää, että järven eliöstö on rehevöitymisen seurauksena lisääntynyt toteamalla: ”Pohjalla on paljon humusaineita ja kuolleita kaloja. Niiden myötä hajottajaeliöt ovat lisääntyneet”. Hän myös ymmärtää, että lisääntyneen hajotustoiminnan takia järven happi kuluu enemmän ja järven talviset olosuhteet vaikuttavat järven happitilanteeseen. Tehtävän B ainoa lause ”Järven omia tuottamia ravinteita” kertoo, että oppilaalla on jokin muistikuva sisäisestä kuormituksesta, mutta hän ei sitä kuitenkaan osaa avata.

TEHTÄVÄ 11

- A) Eräänä huhtikuisena kevätaamuna ennen jäidenlähdon aikaa, mökkilläinen Einari päättää tehdä avannon pienehkön mökkijärvensä rantaan. Avannon tehtyään hänen suureksi yllätykseksensä avanto tulvahtaa täyteen kuolleita särkiä. Einari on ihan ymmällään. Selvitä lyhyellä kirjoittelulla, mitä järvessä on tapahtunut?

Järvessä on tullut talven aikana happikato. Se taas johtuu siitä, että rehevöityneen järven pohjalla on paljon humusaineita ja kuolleita kaloja. Niiden myötä hajottajaerät ovat lisääntyneet, ja ne tarvitsevat runsaasti happea hengittämiseen, ja ovat kiihdyttäneet hapenkulutusta. Sitten talven tullen jään läpi ei happi pääse liukemaan järveen, ja kun lumi sataa jään päälle, järveen ei pääse valoa, eikä kasvitkaan voi tuottaa happea yhteyttämällä.

Särkiä tuli pintaan siksi niin paljon, sillä kun järvestä on happi alkanut vähentyä, lohien sukuiset kalat näivähtävät ja tilalle tulee vähempiarvoisia kaloja kuten särki.

- B) Mitä sisäisellä kuormituksella tarkoitetaan?

Järven omia tuottamia ravinteita

Kuva 15. Normaaliuokan oppilaan (5) vastaus kokeessa systeemiajattelutaitojen tasolla kolme.

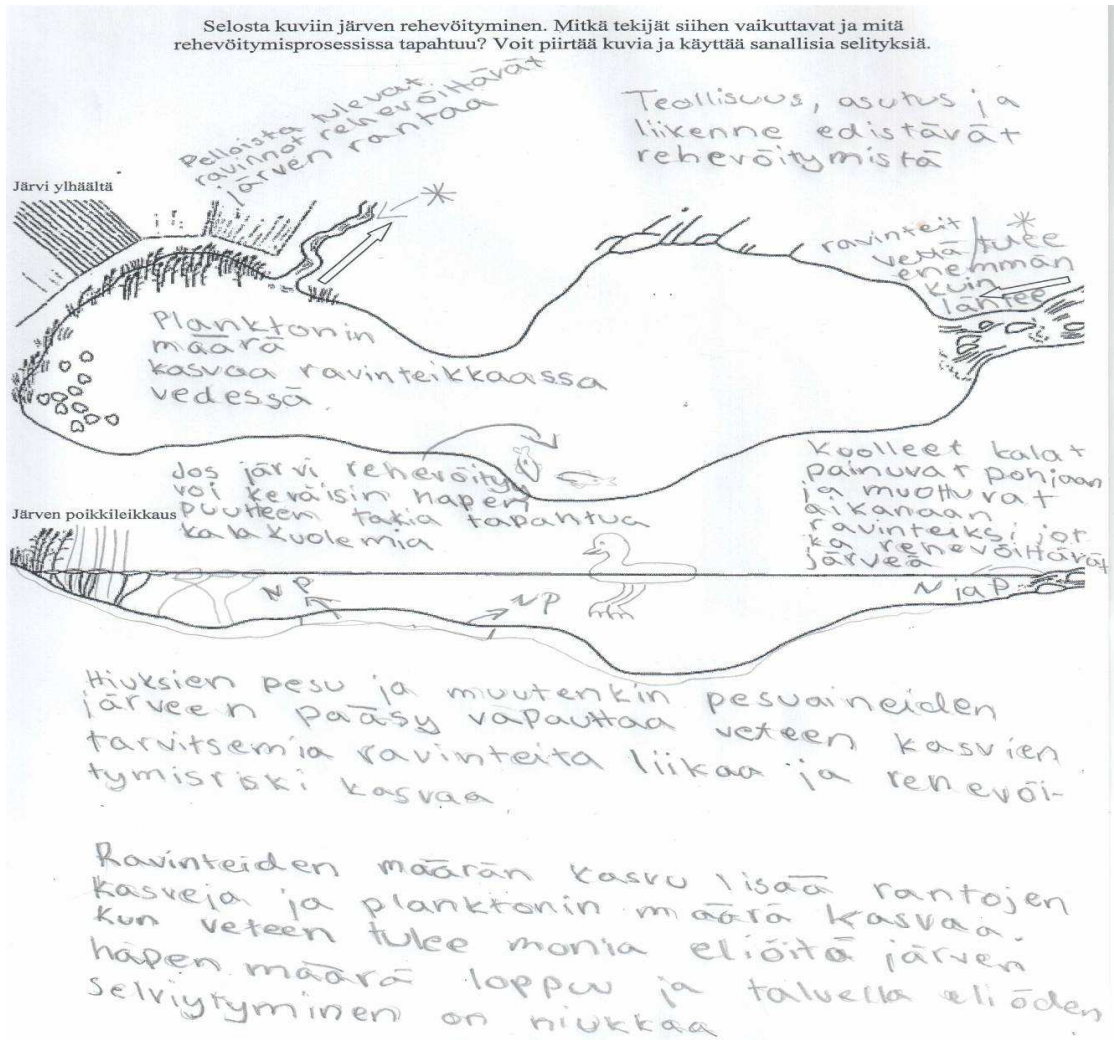
6.5.4. Rehevöitymisen osaaminen ja systeemiajattelutaitojen ilmeneminen tason neljä vastauksissa alkumittauksessa, loppumittauksessa ja kokeessa

Tasolla neljä rehevöityminen ymmärrettiin kokonaisuutena, mutta myös puutteita ja virheitä voi ilmetä. Systeemiajattelutaidoissa tasolla neljä oppilaalla on kyky tunnistaa rehevöitymisen osatekijöiden välisiä suhteita. Hän pystyy järjestämään rehevöitymisen osatekijät ja prosessit niiden välisten suhteiden puitteissa. Oppilas myös tunnistaa osatekijöiden muuttuvat suhteet rehevöitymisprosessissa, ja hänellä on myös kyky ymmärtää, että luonto on systeeminen. Tason neljä vastauksia alku- ja loppumittauksessa oli 4 ja kokeessa 5.

Tasolla neljä termiä ravinne käytettiin oikein jokaisessa vastauksessa, mutta yhdessä vastauksessa se oli myös sekoitettu termiin ravinto (Taulukko 7). Ihmistoiminnan ravinnepäästölähteitä listattiin hyvin. Jokaisessa vastauksessa esiintyivät liikenne, maatalous ja teollisuus. Asutus ja erialiset rehevöittävät aineet ilmenivät 75 % vastauksista. Tason neljä vastauksissa tiedettiin myös hyvin, mitä ravinteiden lisäyksestä seuraa: kasvi- ja eläinplanktonin / yleensä planktonin määrän lisääntyminen ja kalojen määrän lisääntyminen

tiedettiin 75 % vastauksista. Kasvien määrän lisääntyminen tiedettiin jokaisessa vastauksessa. Hajotustoiminnan lisääntyminen ja ravinteiden vapautuminen hajotustoiminnassa takaisin veteen ilmenivät 25 % vastauksissa ja ravinteiden sedimentoituminen järven pohjalle 50 % vastauksista. Hapen väheneminen / happikato ja hapen puutteesta johtuvat kalakuolemat ilmenivät 75 % vastauksista. Järven ravinnetasapainottomuus mainittiin 50 % vastauksista ja järven umpeenkasvu 75 % vastauksista.

Systeemiluokan oppilaan (17) vastaus edustaa tyypillistä tason neljä vastausta loppumittauksessa (Kuva 16). Oppilaan vastauksesta ilmenee selkeästi, että hän ymmärtää, mitä rehevöitymisprosessissa tapahtuu, vaikka vastauksessa on myös puutteita. Hän tarkastelee vastauksessaan myös rehevöitymistä systeemisenä ilmiönä. Oppilas on listannut ihmistoiminnan ravinnepäästölähteiksi maatalouden, teollisuuden, asutuksen ja liikenteen. Hän kytkee ravinteiden lisäyksen järven ravintoketjuun: ” *Planktonin määrä kasvaa ravinteikkaassa vedessä*” ja ” *Ravinteiden määrän kasvu lisää rantojen kasveja*”. Oppilaan vastauksesta on havaittavissa, että hänellä on jokin orastava käsitys sisäisen kuormituksen vaikutuksesta järven rehevöitymiseen. Tämä ilmenee siten, että hän kytkee happikadon rehevöitymiseen ” *Jos järvi rehevöityy voi keväisin hapen puutteen takia tapahtua kalakuolemia*” sekä ” *kuolleet kalat painuvat pohjaan ja muotoutuvat aikanaan ravinteiksi jotka rehevöittävät järveä*”. Hän on myös piirtänyt järven poikkileikkauskuvaan pohjasedimentin, josta vapautuu typpeä ja fosforia. Oppilas myös ymmärtää, että ravinteita tulee järveen enemmän kuin sieltä lähtee mainitsemalla, että ” *ravinteit / vettä tulee enemmän kuin lähtee*”.



Kuva 16. Systeemiluokan oppilaan (17) vastaus loppumittauksessa systeemiajattelutaitojen tasolla neljä.

Kaikissa tason neljä koevastauksissa vastausta lähdettiin purkamaan rehevöitymisen kautta (Taulukko 8). Vastauksista 60 % mainittiin ihmistoiminnan ravinnepäästölähteet. Kasvi- ja eläinplanktonin / yleensä planktonin määrän lisääntyminen, kalojen määrän lisääntyminen ja kasvien määrän lisääntyminen mainittiin 80 % vastauksista. Oppilaista 40 % mainitsi myös levien määrän lisääntyminen. Jokaisessa vastauksessa ilmeni myös hajotustoiminnan lisääntyminen, ja 80 % vastauksissa mainittiin hajotustoiminnasta johtuvan ravinteiden vapautuminen takaisin järviveteen. Vastauksista 40 % myös mainittiin, ettei järvi ole tasapainoinen ravinteiden suhteen. Järven hapen väheneminen / happikato mainittiin 80 % vastauksissa, ja jokaisessa vastauksessa todettiin, että kalat ovat kuolleet hapen puutteeseen ja että järven talviset olosuhteet vaikuttavat järven happitilanteeseen.

Normaaliluokan oppilaan (1) vastaus on tyypillinen tason neljä vastaus kokeessa (Kuva 17). Oppilas lähtee purkamaan vastausta rehevöitymisen kautta: "Kun fosforia ja typpeä pääsee järviin, sekä humusaineita, että ravinteita järvi on vaarassa rehevöityä." Hän liittyy ravinteiden vaikutuksen järven biomassan kasvuun: "Ensin ilmaversoisia ja kelluslehtisiä kasveja tulee järviin, sitten viherlevää, joka tarttuu katiskoihin ja verkkoihin. Kuolevia kasveja ja eläimiä kertyy järven pohjalle. Silloin hajottaja bakteereita alkaa tulla yhä enemmän." Hän ymmärtää järven talvisen olosuhteen

vaikutuksen hapen vähenemiseen: ”eliöt järvessä joutuvat pärjäämään sillä hapella mikä jäi ennen lumen tuloa. Silloin ei kaikille kaloille riitä happea ja tulee happikato, johtuen osittain hajottaja bakteerien runsaasta kasvusta.” Oppilaan tehtävä B:n vastaus ”Että järven omasta takaa kuormittaa järven. Maatuneet ainesosat hajoavat ja tuottavat enemmän ravinteita. Järveen liukenee vaarallisia yhdisteitä rannoilta. Järven sisältä tulee rehevöittämistä kiihdyttäviä aineita.” kertoo, että hänellä on jonkinlainen käsitys sisäisestä kuormituksesta, mutta hän ei kuitenkaan osaa kytkeä ravinteiden vapautumista pohjasedimentistä hapettomiin oloihin. Vastauksesta ilmenee, että hän ajattelee hajotustoiminnasta järviveteen vapautuvien ravinteiden olevan sisäistä kuormitusta.

TEHTÄVÄ 11

- A) Eräänä huhtikuuisena keväämunana ennen jäidenlähdon aikaa, mökkiläinen Einari päättää tehdä avannon pienehkön mökkijärvensä rantaan. Avannon tehtyään hänen suureksi yllätyksekseen avanto tulvahtaa täyteen kuolleita särkiä. Einari on ihan ymmällään. Selvitä lyhyellä kirjoittelulla, mitä järvessä on tapahtunut?

Kun forforia ja typpien pääsee järveen, sekä humusainetta, että ravinteita järven on ruusun rehevöityä. Ensinnäkin ilmavaroissa ja keltalehtisissä kasveissa tulee järveen, sitten rihaleveä, joka tarttuu kalasäkiin ja vesikasveihin. Kvalerin kasveja ja etänsä kertyy järven pohjalle. Silloin hajottaja bakteerit alkavat tulla yhä enemmän. Talvella kun jäi on ja siinä pätkä on lunta ei aurinko pääse läpi eikä kasvit enää tuota happea. Niin eliöt järvenessä joutuvat pärjäämään sillä hapella mikä jäi ennen lumen tuloa. Silloin ei kaikille kaloille riitä happea ja tulee happikato, johtuen osittain hajottajan bakteerit runsaasta kasvusta ja kalon ruumista hajoavaa lähtöä ravinteita.

- B) Mitä sisäisellä kuormituksella tarkoitetaan?

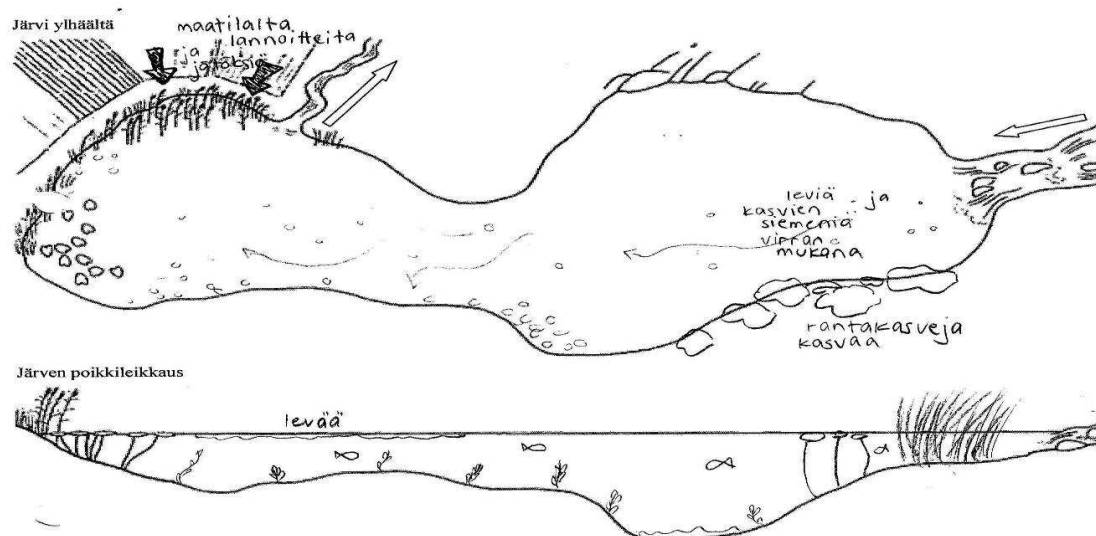
Että järven omasta takaa kuormittaa järven. Maatuneet ainesosat hajoavat ja tuottavat enemmän ravinteita. Järveen liukenee vaarallisia yhdisteitä rannoilta. Järven sisältä tulee rehevöittämistä kiihdyttäviä aineita.

6.6. Oppilaan (13) kehitys alkumittauksesta loppumittaukseen ja kokeeseen

Systeemiluokan oppilaan (13) alkumittauksen, loppumittauksen ja kokeen vastaukset kertovat, kuinka oppilas onnistuneesti kehittyi systeemiajattelutaidoissa ja rehevöitymisen osaamisessa oppimisprosessin aikana. Alkumittauksessa oppilas sijoittui systeemiajattelutaitojen tasolle kaksi. Systeemiajattelua tukevien oppituntien jälkeen pidetyssä loppumittauksessa oppilas sijoittuu systeemiajattelutaitojen tasolle kolme ja kokeessa tasolle neljä.

Alkumittauksessa oppilaan vastauksesta käy ilmi, että oppilaan käsitys rehevöitymisestä prosessina on puutteellinen (Kuva 18). Hän ymmärtää, että rehevöitymisessä järven biomassaa kasvaa mainitsemalla, että ”leviä ja kasveja kasvaa kun järvi rehevöityy”. Oppilas myös ymmärtää, että ihmisen toiminnalla on vaikutusta järven rehevöitymiseen toteamalla ”maatilalta valuu järveen lannoitteita ja eläinten jätöksiä” sekä mainitsemalla ”saasteet”. Vaikka vastauksessa on listattu satunnaisia rehevöitymisen osatekijöitä, ei siitä kuitenkaan ilmene mitenkään, että oppilas ajattelisi rehevöitymisprosessia systeemisenä luonnonilmiönä.

Selosta kuviin järven rehevöityminen. Mitkä tekijät siihen vaikuttavat ja mitä rehevöitymisprosessissa tapahtuu? Voit piirtää kuvia ja käyttää sanallisia selityksiä.



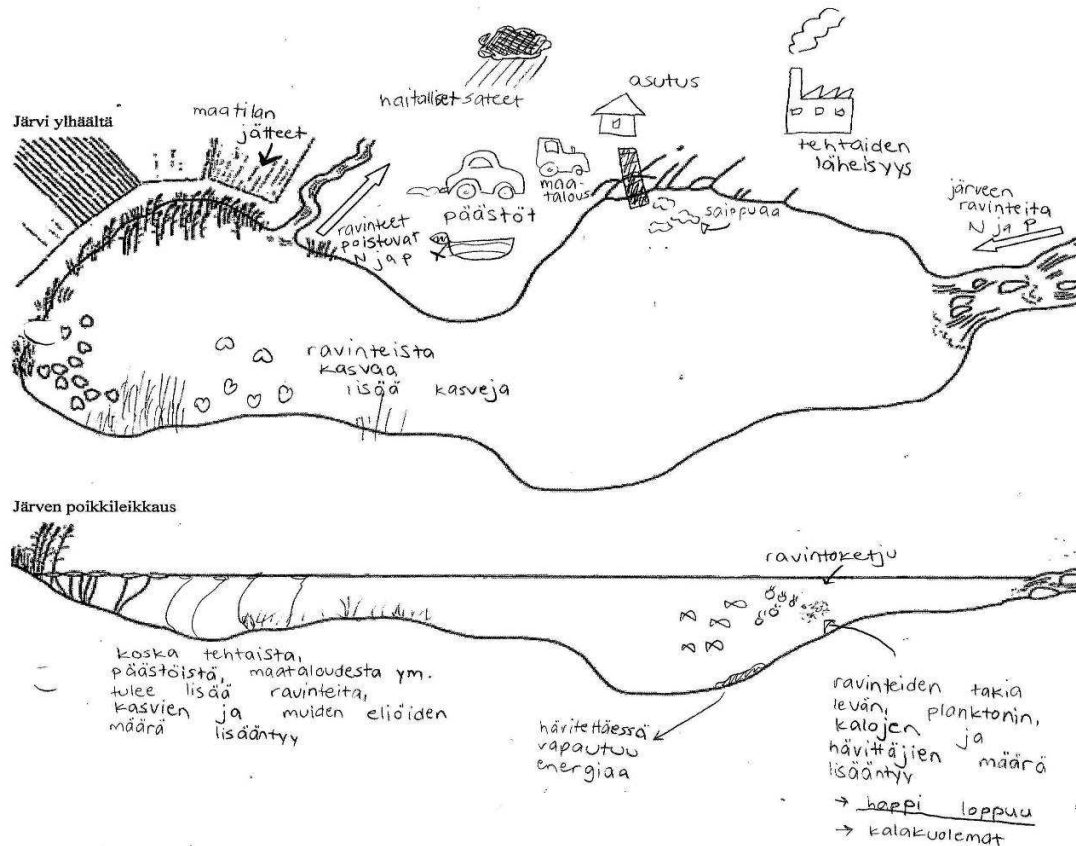
- maatilalta valuu järveen lannoitteita ja eläinten jätöksiä
- joen/puron mukana tulee rehevöittäviä aineita.
- aineet ajautuvat järven rantaan ja paikkaan alkaa kasvaa kasveja
- leviä ja rantakasveja kasvaa, kun järvi rehevöityy
- maassa on paljon ravinteita
- kalojen määrä vaikuttaa myös, kalojen jätökset
- sijainti vaikuttaa
- saasteet

Kuva 12. Systeemiluokan oppilaan (13) vastaus alkumittauksessa systeemiajattelutaitojen tasolla kaksi.

Loppumittauksessa oppilas on vastauksessaan listannut systeemin osia ja prosesseja hyvin (Kuva 19). Hän on eritellyt ihmistoiminnan ravinnepäästölähteiksi maatalouden, ilmansaasteet, asutuksen, teollisuuden ja liikenteen. Hän on myös liittänyt ravinteiden

lisääntymisen vaikutuksen järven ravintoketjuun ”ravinteiden takia levän, planktonin, kalojen ja hävittäjien määrä lisääntyy” sekä ”koska tehtaista, päästöistä ja maataloudesta ym. tulee lisää ravinteita kasvien ja muiden eliöiden määrä lisääntyy”. Hän kytkee happikadon ja kalakuolemat biomassan lisääntymisen seurauksiin. Oppilas on vastauksessaan kuvannut myös ravinteiden tuloa ja lähtöä järvestä jokien mukana. Tämä kuvastaa oppilaan ymmärrystä rehevöitymistä systeemisenä prosessina.

Selosta kuviin järven rehevöityminen. Mitkä tekijät siihen vaikuttavat ja mitä rehevöitymisprosessissa tapahtuu? Voit piirtää kuvia ja käyttää sanallisia selityksiä.



Kuva 13. Systeemiluokan oppilaan (13) vastaus loppumittauksessa systeemiajattelutaitojen tasolla kolme.

Kokeessa oppilaan vastauksesta käy ilmi, että hän osaa tunnistaa systeemin osat ja prosessit ja hän järjestää ne suhteellisen loogiseksi kokonaisuudeksi arvioitaessa kokeen tehtäviä A ja B yhtenä kokonaisuutena (Kuva 20). Oppilas aloittaa toteamalla, että järvi on rehevöitynyt ihmistoiminnasta johtuvien ravinnepäästöjen takia, minkä seurauksena järven eliöiden määrä lisääntyy: ”Lisääntyneen ravinnemäärän takia järveen tulee lisää kasvi- ja eläinplanktonia, leviä, kaloja hajottajia ja kasveja”. Oppilas toteaa, että biomassan lisäyksen johdosta järvestä hapen kulutus kasvaa, mikä johtaa happikatoon, ja sen seurauksena kalat ovat kuolleet hapen puutteeseen. Oppilas myös mainitsee järven talvisten olosuhteiden vaikutuksen järven happitilanteeseen. Tehtävän B:n vastaus osoittaa, että oppilas ajattelee rehevöitymistä systeemisenä prosessina toteamalla: ”Hajoava aine järven kasveista ja muista eliöistä tuottaa lisää ravinteita eikä järvestä poistu sitä yhtä paljon kuin sinne tulee”. Oppilaalla on myös käsitys sisäisestä kuormituksesta, vaikka hän ei osaakaan selittää sitä

oikein. Oppilas ymmärtää, että sisäisellä kuormituksella tarkoitetaan järvestä itsestään vapautuvia ravinteita, mutta hän ei osaa selittää, että se liittyy sedimentistä vapautuviin ravinteisiin hapettomissa oloissa. Tästä voi päätellä, että oppilas pystyy ajattelemaan rehevöitymisprosessin eri osatekijöiden suhteita toisiinsa ja vaikutuksia prosessiin kokonaisuutena. Tehtävä A:n lopuksi oppilas on listannut joitakin menetelmiä, kuinka rehevöitymistä voidaan estää. Tästä osaltaan käy ilmi, että oppilaalla on ymmärrys siitä, että vaikuttamalla johonkin systeemin osatekijään tai prosessiin voidaan vaikuttaa koko ilmiöön.

TEHTÄVÄ 11

- A) Eräänä huhtikuuisena kevätaamuna ennen jäidenlähdon aikaa, mökkiläinen Einari päättää tehdä avannon pienehkön mökkijärvensä rantaan. Avannon tehtyään hänen suureksi yllätykseksensä avanto tulvahtaa täyteen kuolleita särkiä. Einari on ihan ymmällään. Selvitä lyhyellä kirjoitelmalla, mitä järvessä on tapahtunut?

Järvi on rehevöitynyt johtuen ilmasta, maa- ja metsätaloudesta, asutuksesta, hajoavasta orgaanisesta aineesta ja liikenteestä. Kaikkien eliöiden määrä lisääntyy, joten happea kuluu paljon. Talvella jää estää hapen pääsyn ilmasta veteen, joten siitä on seurannut happikato. Kalalle ei ole riittänyt happea, joten ne ovat kuolleet. Lisääntyneen ravinnemäärän takia järveen tulee lisää kasvi- ja eläinplanktonia, leviä, kalja, hajottajia ja kasveja. Happi loppuu, koska ne kaikki tarvitsevat sitä, eikä järveen pääse talvella enempää happea. Kalat kuolevat ja nousevat pintaan. Rehevöitymistä voi ehkäistä käyttämällä kierrätysmateriaaleja ja jättämällä suojavyöhykkeitä, luonnonmukaiset tuotteet ja kuormittamattomat aineet.

- B) Mitä sisäisellä kuormituksella tarkoitetaan?

Järven sisäisellä kuormituksella tarkoitetaan ravinteita, jaita tulee paljon järvestä itsestään. Hajoava aines järven kasveista ja muista eliöistä tuottaa lisää ravinteita eikä järvestä poistu sitä yhtä paljon kuin sinne tulee. Sisäiseen kuormitukseen ei kuulu ulkoisia kuormittajia, kuten tehtaita ja päästöjä.

Kuva 20. Systeemiluokan oppilaan (13) vastaus kokeessa systeemiajattelutaitojen tasolla neljä.

7. TULOSTEN TARKASTELU

Tämän työn tulokset osoittavat, että systeemiajattelutaitoja voidaan kehittää yläkouluikäisillä oppilailla. Työn merkittävimpinä tuloksina voidaan pitää sitä, että systeemiluokalla tapahtui systeemiajattelutaidoissa sekä rehevöitymisen osaamisessa kehittymistä alku- ja loppumittauksen välillä, kun taas normaaliluokalla ei tapahtunut. Voidaan todeta, että systeemiluokalle annettu systeemiajattelutaitoja tukeva opetus tuotti kehittymistä

systemiajattelutaidoissa ja rehevöitymisen osaamisessa paremmin kuin perinteinen opetus normaaliluokalle.

Alkumittauksen tuloksia tarkasteltaessa on huomattava, että systeemiluokka ja normaaliluokka eivät eronneet toisistaan systemiajattelutaidoissa. Kaikki, paitsi yksi normaaliluokan oppilas, sijoittuivat tasoille yksi ja kaksi, joilla ei esiinny systemiajattelutaitoja. Voidaankin todeta, että seitsemäsluokkalaisilla ei ollut systemiajattelutaitoja ennen tutkimusta. Ainakaan ne eivät tulleet esille rehevöitymisen yhteydessä. Tulos ei ole yllättävä, koska monimutkaisten systeemisten ilmiöiden ymmärtämisen tiedetään olevan vaikeaa (Hmelo-Silver & Azevedo 2006, Evagorou ym. 2009). Tulos on myös samansuuntainen kuin Assaraf & Orion (2005) tutkimuksessaan totesivat, että suurimmalla osalla kahdeksaluokkalaisista oli suuria vaikeuksia systemiajattelutaidoissa ennen heidän tutkimusprojektiaan.

Tarkasteltaessa tuloksia tilastollisesti systeemiluokka ja normaaliluokka eivät eronneet systemiajattelutaidoissa toisistaan myöskään loppumittauksessa eivätkä kokeessa. Vaikka tilastollista eroa luokkien välillä ei ollut, niin prosentuaalisia keskiarvoja tarkasteltaessa voidaan todeta, että systeemiluokka sijoittui loppumittauksessa ja kokeessa paremmin systemiajattelutaitojen tasoille. Loppumittauksessa systeemiluokalla tasoilla kolme ja neljä oppilaita oli 34 %, kun taas normaaliluokalta oli vain 16 % oppilaista. Kokeessa systeemiluokalta tasoille kolme ja neljä sijoittui 33 % oppilaista ja normaaliluokalta 31 % oppilaista. Kuitenkin systemiajattelutaitojen tasolle neljä kokeessa sijoittui systeemiluokalta 22 % oppilaista, kun taas normaaliluokalta 8 % oppilaista.

Systemiajattelutaitojen tasolle viisi ei sijoittunut mittauksissa yksikään oppilas systeemiluokalta eikä normaaliluokalta. Tason viisi vaatimukseen kuuluivat kyky nähdä piilossa olevat ilmiöt systeemissä, kyky tehdä yleistyksiä ja kyky ajatella sekä mennyttä että tulevaa. Esimerkiksi oppilaiden vastauksia loppumittauksessa sekä kokeen B-tehtävän vastauksia tarkastellessa käy selväksi, ettei rehevöitymisprosessin sisäistä kuormitusta ymmärretä. Sisäistä kuormitusta voidaan ajatella kuuluvan systeemin piilossa oleviin ilmiöihin tason viisi vaatimusten mukaan. Ajallisten funktioiden tarkasteleminen tässä työssä on hankalaa, koska muutoksia systeemin eri osissa ja niiden vaikutusta koko prosessiin on tällaisella perinteisellä opetusmenetelmällä vaikea toteuttaa rajallisessa ajassa. Ajallisen funktion muutoksien tarkastelua varten olisi tietokonesimulaatio varmasti hyvä vaihtoehto. Assaraf & Orion (2010) totesivat tulostensa pohjalta, että neljäsluokkalaisten opetuksessa kannattaa keskittyä vain systemiajattelutaitojen tasojen kolme ja neljä kehittämiseen. Tutkiessaan seitsemäsluokkalaisten systemiajattelutaitojen kehittymistä kivikierron yhteydessä Kali ym. (2003) toteaa, että kiinnittämällä oppilaiden huomiota systeemin pienimpiin osiin ja yhdistämällä ne systeemin kontekstiin auttaa oppilaita ymmärtämään kivikierron dynaamista ja syklistä näkökulmaa. Tämän työn tulokset viittaavat myös siihen, että oppilaille, joilla ei ole systemiajattelutaitoja opetuksen painopiste pitää siirtää ensiksi tason kolme ja neljä kehittämiseen. Näin luodaan pohjaa kattavammille systemiajattelutaidoille, varsinkin jos käytössä ei ole tietokonesimulaatiota, jolla ajallisten funktioiden ja piilossa olevien ilmiöiden mallintaminen olisi helposti toteutettavissa.

Koetehtävän osaamista arvioitiin poimimalla oppilaiden vastauksista koevastauksen osatekijöitä. Oppilaiden vastaukset sijoitettiin myös eri systemiajattelutaitojen tasoille. Kokeen tuloksista ilmenee, että mitä paremmille systemiajattelutaitojen tasoille oppilaat sijoittuivat, sitä enemmän koevastauksen osatekijöitä osattiin. Tulokset kuitenkin osittavat, että luokat eivät eroa toisistaan koevastausten osaamisen suhteen. Tämä tulos viittaa siihen, että oppilaat ovat kokeeseen lukiessaan vahvasti tukeutuneet oppikirjaan. Tähän osaltaan viittaa kokeen B-tehtävän osaamattomuus siitä, mitä sisäisellä kuormituksella tarkoitetaan. Tieto sisäisestä

kuormituksesta olisi kuitenkin ollut löydettävissä systeemi luokalle piirretystä kuvasta ja normaali luokan vihkoon kirjoitetuista muistiinpanoista.

Kurtz dos Santos & Ogborn (1994) ja Hogan & Thomas (2001) vakuuttavat, että tietokonesimulaatiot, joilla kuvataan systeemiä ilmiötä, ovat tärkeä työväline kehitettäessä systeemiajattelutaitoja, koska näin saadaan selville, kuinka monimutkainen systeemi toimii. Samalla voidaan kiinnittää huomiota esimerkiksi syy-seuraussuhteisiin. Heidän mukaansa oppilaat oppivat myös paremmin simulaatioista kuin staattisista systeemin kuvauksista. Riess & Mischo (2010) tutkimuksessaan tarkastelivat, millä menetelmin – tietokonesimulaatiolla, tietokonesimulaatiolla ja varta vasten suunnitelluilla oppitunneilla vai pelkillä oppitunneilla – systeemiajattelutaitoja voidaan parhaiten edistää kuudesluokkalaisten biologian oppitunneilla. Tutkimuksesta käy ilmi, että systeemiajattelua edistää parhaiten tietokonesimulaation ja oppituntien yhdistelmä, mutta myös pelkillä varta vasten suunnitelluilla oppitunneilla saavutetaan systeemiajattelutaitojen kehitystä.

Vaikka tietokonesimulaatioista olisi apua opettaessa ja opittaessa systeemiä ilmiötä, eri asia on se, onko opettajilla aikaa, työvälineitä ja osaamista valmistella tietokonesimulaatiopohjaisia oppitunteja. Riessin & Michon (2010) ja tämän tutkimuksen mukaan perinteisin opettajalla olevin työvälinein on mahdollista kehittää systeemiajattelutaitoja koulussa. Huomioon otettavaa tämän työn tuloksissa on vielä se, että oppilailla oli vain 2 x 45 minuuttia opetusta, ja jo tällä lyhyellä ajalla saatiin eroja luokkien välillä systeemiajattelutaitojen kehittymisessä.

Vaikka saadut tulokset viittaavat siihen, että systeemi luokalla opetus tuotti paremman kehityksen systeemiajattelutaidoissa ja rehevöitymisen osaamisessa, on kuitenkin syytä pohtia tulosten luotettavuutta siirtovaikutuksen ja tilannesidonnaisuuden kannalta. Tulokset eivät kerro, onko systeemiajattelutaitojen kehittyminen jäänyt kontekstisidonnaiseksi vain rehevöitymisen oppimiseen. Eli tämän työn perusteella ei pysty arvioimaan, miten oppilaat pystyvät siirtämään systeemiajattelutaitojaan jonkin toisen systeemin ilmiön oppimiseen. Goldstone & Sakamoto (2003) ja Evagorou ym. (2009) totesivat, että systeemisistä ilmiöistä sisältävät samanlaisia elementtejä, joita ihmiset pystyvät siirtämään aiheesta toiseen, ja tätä siirtovaikutusta auttaa konkreettisten ominaisuuksien hahmottaminen ja pinnallisten samanlaisuuksien tarkastelu.

Systeemiajattelua on tutkittu laajasti yhteiskuntatieteissä, lääketieteessä, psykologiassa, johtamisessa, insinööritaidoissa ja matematiikassa mutta varsin vähän luonnontieteiden opetuksessa (Kali ym. 2003). Varsin vähän on tutkittu myös sitä, kuinka oppilaat voivat oppia monimutkaisia systeemejä koulussa (Evagorou ym. 2009). Näissä harvoissa tutkimuksissa on todettu, että systeemiajattelutaitoja voidaan kehittää yläkouluikäisillä mutta myös jo alakouluikäisillä oppilailla (Wylie ym. 1998, Kali ym. 2003, Assaraf & Orion 2005, Evagorou ym. 2009, Assaraf & Orion 2010, Riess & Micho 2010).

Nykyisen perusopetuksen opetussuunnitelman perusteiden mukaan biologian opetuksen on pohjaututtava tutkivaan ja ongelmakeskeiseen lähestymistapaan (Opetushallitus 2004). Vuosiluokille 1– 4 ympäristö- ja luonnontiedon opetuksen pitäisi esimerkiksi edesauttaa oppilasta ymmärtämään omaa ympäristöään sekä ihmisen ja ympäristön välistä vuorovaikutusta sekä esittämään eri tavoin ympäristöön ja sen ilmiöihin liittyvää tietoa. Vuosiluokkien 5– 6 biologian opetuksessa oppilaille pitää opettaa esimerkiksi eliöiden ja niiden elinympäristöjen välisiä vuorovaikutuksia. Vuosiluokkien 7– 9 biologian opetuksen tulisi ohjata oppilasta kiinnittämään huomiota ihmisen ja muun luonnon välisiin vuorovaikutussuhteisiin. Opetuksen tulee kehittää oppilaan luonnontieteellistä ajattelua, ja opetuksen tulee antaa oppilalle valmiudet havainnoida ja tutkia luontoa. Assaraf & Orion (2005 ja 2010) totesivat, että 4-luokkalaiset ovat parempia systeemiajattelutaidoissa kuin 8-luokkalaiset, jos heille on opetettu asioita systeemiajattelutaitoja kehittävästi. Wylie ym. (1998) esittivät, että jo 8-vuotiaat pystyvät kehittämään systeemiajattelutaitojaan. Koska

monet biologiset luontoon ja ympäristöön liittyvät ilmiöt ovat systeemisiä, niin olisi syytä pohtia, että jo ensimmäisiltä vuosiluokilta lähtien oppilaiden luonnontieteellistä ajattelua kehitettäisiin systeemijattelua tukevalla opetuksella ainakin osittain. Tällöin opetus pohjautuisi opetussuunnitelmissa vaadittuun tutkivan ja ongelmakeskeisen opettamisen tavoitteisiin, sekä samalla kehitettäisiin oppilaiden kykyä hahmottaa luontoa kokonaisuutena ja kiinnitettäisiin huomiota erilaisiin vuorovaikutussuhteisiin.

Tämän työn tulosten perusteella on mielestäni selvää, että yläkouluikäisten biologian ja myös muidenkin kouluaineiden opetuksessa on perusteltua lähestyä opetettavia asioita systeemijattelua kehittävien työtapojen kautta. Tällöin myös saavutetaan mahdollisimman hyvin opetussuunnitelmassa vaadittavat opetuksen tavoitteet ja päämäärät. Tämä työ osoittaa, että jo kahden oppitunnin mittaisella opetusjaksolla saavutetaan systeemijattelutaitojen kehittymistä. Mielestäni tällaisen systeemijattelua kehittävä oppitunnin suunnittelu ei vaadi opettajalta sen enempää resursseja kuin perinteisen opettajajohtoisen oppitunnin suunnittelukaan. Ajattelen myös niin, että systeemijattelua tukevan oppitunnin pitäminen on myös opettajalle antoisampaa kuin perinteisen opettajajohtoisen oppitunnin pitäminen. Opettaessani näitä tutkimuksessa mukana olevia luokkia oli selvästi huomattavissa, että systeemiluokan oppilaat olivat aktiivisemmin tunnilla mukana, kun he saivat piirtää kuvia ja kaavoita vihkoon samalla keskustellen opittavasta asiasta, kuin normaaliluokan oppilaat perinteisellä opettajajohtoisella oppitunnilla.

Koska systeemijattelutaitoja ei ole tutkittu kattavasti luonnontieteiden opetuksessa ja varsinkin vähän on tietoa myös siitä, kuinka oppilaat oppivat systeemisiä ilmiötä, olisi varmasti syytä tulevaisuudessa laajemmin tutkia systeemijattelutaitojen kehittymistä koulumaailmassa. Tämäkin työ osoittaa, että systeemijattelutaitoja on mahdollista kehittää yläkouluikäisillä oppilailla, mutta laajempi lisätutkimus antaisi varmasti enemmän tietoa siitä, miten ja millä tavoin oppilaat voivat oppia ja ymmärtää systeemisiä ilmiöitä ja pystyvätkö he siirtämään systeemijattelutaitojaan opiskeltavasta asiakontekstistä toiseen.

KIITOKSET

Esitän suuret kiitokset Jari Haimille ja Ilkka Ratiselle työn ohjaamisesta. Kiitän myös Solja Ojalaa Jyväskylän normaalikoululta avusta tutkimuksen aineistonkeruun mahdollistamisessa. Erityiset kiitokset kuuluvat myös perheelle ja ystäville, jotka ovat auttaneet ja tukeneet työn eri vaiheissa.

KIRJALLISUUS

- Assaraf, O. B-Z. & Orion, N. 2005. Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching* 42: 518-560.
- Assaraf, O. B-Z. & Orion, N. 2010. System thinking skills at the elementary school level. *Journal of Research of Science Teaching* 47: 540-563.
- Bessette, H. J. 2007. Using students' drawings to elicit general and special educators' perceptions of co-teaching. *Teaching and Teacher Education* 24: 1376-1396.
- Bets, A., Moor, G., Holmes, B., Clark, P. I., Bruce, T., Leischow, S., Buchholz, K. & Krajnak, J. 2003. Health Promotion Dissemination and Systems Thinking: Towards an Integrative Model. *American Journal of Health Behavior* 27: 206-216.
- Betts, F. 1992. How Systems Thinking Applies to Education. *Education Leadership* 50: 38-41.
- Bowker, B. 2007. Children's perceptions and learning about tropical rainforests: an analysis of their drawings. *Environmental Education Research* 13: 75-96.
- Campbell, N. A., Reece, J. B. 2002. *Biology*. Benjamin/Cummings, California, 1247 s.
- Clegg, S., Kornberg, M. & Pitsis, T. 2005. *Managing and organizations. An introduction to theory and practice*. SAGE Publications Ltd. London. 536 s.
- Dove, J. E., Evert, L. A., & Preece, P. F. W. 1999. Exploring a hydrological concept through children's drawings. *Journal of Science Education* 21: 485-497.
- Eloranta, V. 2005. Miksi opettaa ja opiskella biologiaa. Teoksessa Eloranta, V., Jeronen, E. & Palmberg, I. (toim.), *Biologia eläväksi – biologian didaktiikka*. PS-kustannus, Jyväskylä, 17-42 s.
- Evagorou, M., Korfiatis, K., Nicolaou, C., & Constantinou, C. 2009. An Investigation of the Potential of Interactive Simulations for Developing System Thinking Skills in Elementary School: A case study with fifth-graders and sixth-graders. *International Journal of Science Education* 31: 655-674.
- Frank, M. 2000. Engineering systems thinking and systems thinking. *Systems Engineering* 3: 163-168.
- Goldstone, R. & Sakamoto, Y. 2003. The transfer of abstract principles governing complex adaptive systems. *Cognitive Psychology*. 46: 414-466.
- Hakkarainen, K., Lonka, K., Lipponen, L. 2001. *Tutkiva oppiminen. Älykkään toiminnan rajat ja niiden ylittäminen*. WS Bookwell Oy. Porvoo. 295 s.
- Hogan, K. 2000. Assessing students' system reasoning in ecology. *Journal of Biological Education* 35: 22-28.
- Hogan, K., & Thomas, D. 2001. Cognitive comparison of students' systems modelling in ecology. *Journal of Science Education and Technology* 10: 319-345.
- Hmelo, C., Holton, D., & Kolodner, J. 2000. Designing to learn about complex systems. *The Journal of the Learning Sciences* 9: 247-298.
- Hmelo-Silver, C. & Azevedo, R. 2006. Understanding complex systems: Some core challenges. *The Journal of the Learning Sciences* 15: 53-61.
- Hung, W. 2008. Enhancing systems – thinking skills with modelling. *British Journal of Educational Technology* 39: 1099-1120.
- Häkkinen, K. 2004. *Nykysuomen etymologinen sanakirja* WSOY. 1622 s.
- Jacobson, M.J., & Wilensky, U. 2006. Complex systems in education: Scientific and educational importance and implications for the learning sciences. *The Journal of the Learning Sciences* 15: 11-34.
- Jeronen, E. 2005. Biologian opetus ja sen suunnittelu. Teoksessa Eloranta, V., Jeronen, E. & Palmberg, I. (toim.), *Biologia eläväksi – biologian didaktiikka*. PS-kustannus, Jyväskylä, 47-92 s.
- Kalff, J. 2002. *Limnology*. Prentice Hall. 592 s.
- Kali, Y., Orion, N. & Eylon B. 2003. Effect of Knowledge Integration Activities on Students' Perception of the Earth's Crust as a Cyclic System. *Journal of Research in Science Teaching* 40: 545-565.

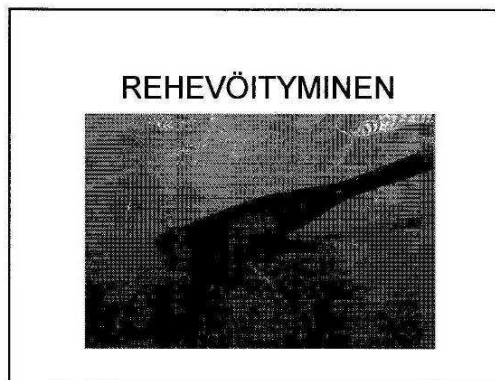
- Kauppila, R.A. 2007. *Ihmisen tapa oppia. Johdatus sosiokonstruktiviseen oppimiskäsitykseen*. Opetus 2000. PS-kustannus. Juva. 207 s.
- Keloharju, R. 1989. *Systeemiajattelu: Kohti Synteesiä*. Helsingin Kauppakorkeakoulu. 79 s.
- Kurtz dos Santos, A.C., & Ogborn, J. 1994. Sixth form students' ability to engage in computational modelling. *Journal of Computer Assisted Learning* 10: 182-199.
- Leinonen, M., Nyberg, T., Veistola, S. & Kuisma, M. 2004. *Koulun biologia sisävedet*. Otavan Kirjapaino Oy. Keuruu. 138 s.
- Leinonen, S. 2011. Piirros. www.seppo.net. Luettu 2.2.2011. Lupa kuvan käyttöön kysytty 2.2.2011.
- Lyytimäki, J. & Hakala, H. 2008. *Ympäristön tila ja suojele Suomessa*. Gaudeamus Helsinki Univeristy Press. Yliopistopaino. Helsinki. 447 s.
- Martin, S. 2005. Sustainability, systems thinking and professional practice. *Systemic Practice And Action Research* 18: 163-171.
- Opetushallitus 2004. *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004*. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala, 320 s.
- Ossimitz, G. 1997. The Development of Systems Thinking Skills Using System Dynamics Modelling Tools, http://www.uni-klu.ac.at/users/gossimitz/sdyn/gdm_eng.htm. Luettu 3.6.2010.
- Ossimitz, G., 2000. Teaching system dynamics and systems thinking in Austria and Germany. Proceedings of the 18th International Conference of the System Dynamics Society, Bergen, Norway.
- Palmberg, I. 2005. Biologian opetusmuodot ja työtavat. Arviointi ja arvostelu. Teoksessa Eloranta, V., Jeronen, E. & Palmberg, I. (toim.), *Biologia eläväksi – biologian didaktiikka*. PS-kustannus, Jyväskylä, 93-160 & 217-242 s.
- Portin, P. 1989. Biologian autonomisuus tieteenä. *Luonnon Tutkija* 93: 60-61
- Puolimatka, P. 2002. *Opetuksen teoria. Konstruktivismista realismiin*. Vammalan Kirjapaino Oy, Vammala. 390 s.
- Rauste- von Wright, M., von Wright, J. & Soini, T. 2003. *Oppiminen ja koulutus*. WSOY. Juva. 262 s.
- Reiss, M., & Tunnicliffe, S. 2001. Students' understandings of human organs and organ systems. *Research Science Education* 31: 383-399.
- Rennie, L.J., & Jarvis, T. 1995. Children's choice of drawings to communicate their ideas about technology. *Research in Science Education* 25: 239-252.
- Riess, W & Mischo, C. 2010. Promoting systems thinking through biology lessons. *International Journal of Science Education* 32: 705-725.
- Seddon, J. & Caulkin, S. 2007. Systems thinking lean production and action learning. *Action Learning: Research and Practice* 4: 9-24.
- Shalberg, P. & Leppilampi, A. 1997. *Yksinään vai yhteisvoimin. Yhdessäoppimisen mahdolluuksia etsimässä*. Helsingin yliopisto, Vantaan täydennyskoulutuskeskus. Yliopistopaino. Helsinki. 187 s.
- Sheehy, N. P. , Wylie, J. W. , McGuinness, C. & Orchard, G. 2000. How Children Solve Environmental Problems: Using computer simulations to investigate systems thinking. *Environmental Education Research* 6: 109-126.
- Särkkä, J. 1996. *Järvet ja ympäristö, Limnologian perusteet*. Tammer-Paino Oy. Tampere. 157 s.
- Tirri, R., Lehtonen, J., Lemmetyinen, R., Pihakaski, S., & Portin, P. 2001. *Biologian sanakirja*. Otavan Kirjapaino Oy. Keuruu. 888 s.
- Tynjälä, P. 1999. *Oppiminen tiedon rakentumisena - konstruktivistisen oppimiskäsityksen perusteita*. Kirjayhtymä, Helsinki, 214 s.
- Valtion ympäristöhallinto, 2010. Valtion ympäristöhallinnon verkkopalvelu, www. ymparisto.fi. Luettu 20.10.2010.
- Virtanen, L., Kankaanrinta, I. 1989. *Biologia koulussa*. Yliopistopaino. Helsinki. 304 s.
- Viiri, J. 2000. *Vuorovesi – ilmiön selityksen opetuksellinen konstruktio*. Joensuun yliopiston kasvatustieteellisiä julkaisuja. N:o 59, 179 s.
- Willamo, R. 2005. *Kokonaisvaltainen lähestymistapa ympäristönsuojelutieteessä. Sisällön moniulotteisuus ympäristönsuojelijan haasteena*. Environmentalica Fennica 23, 377 s.
- Wylie, J., Sheehy, N., McGuinness, C. & Orchard, G. 1998. Children's Thinking about Air Pollution: a systems theory analysis. *Environmental Education Research* 4: 117-137.

Liite 1. Normaaliluokan oppituntien muistiinpanot

Vaihe 1.



Vaihe 2.



Vaihe 3.

Rehevöityminen

- Kasvien perustuotannon kasvu vesiekosysteemeissä, joka johtuu lisääntyneestä ravinteiden saatavuudesta.
- Ravinteet:
 - Typpi (N)
 - Fosfori (P)

Vaihe 4.

Luonnontilainen järvi

- Mistä ravinteita tulee järveen?
 - Valuma-alue
 - Rantakasvillisuuden hajoava orgaaninen aines
- Ravinteet kiertävät järven ravintoketjuissa
 - Kasviplankton → eläinplankton → kalat → hajottajat
 - Hajottajat vapauttavat osan ravinteista takaisin veteen, osa sedimentoituu järven pohjalle
- Luonnontilainen järvi on ravinteiden suhteen tasapainossa

Vaihe 5.

TEHTÄVÄ

- Lue kirjan sivut 92 -93 ja sivun 94 yläosa
 - Mainitse muutama esimerkki siitä, millä tavalla rehevöityminen näkyy järven kasvillisuudessa?
 - Entä eläimistöissä?
 - Miten rehevöityminen haittaa kalastusta?
 - Mitä tarkoittaa sanonta "vesi kukkii"?

Vaihe 6.

Vastauksia

- Kasvit
 - Rannoilla yhä enemmän kookkaita ilmaversoisia kasveja (korteet, kaislat)
 - Kelluslehtisistä kasveista lumme ja ulpukka lisääntyvät
 - Viherlevää
- Eläimet
 - Lohikalat vähenevät (sika, muikku)
 - Särkikalat lisääntyvät
- Haitta kalastukselle
 - Verkkojen ja katiskoiden limoltuminen
- Vesi "kukkii"
 - Sinilevien runsas esiintyminen

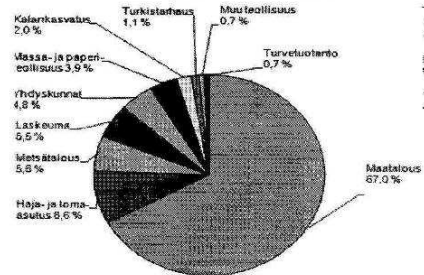
Vaihe 7.

Ihmisen vaikutus

- Ihmisen vaikutus järven ravinne tasapainoon
- Ulkoinen kuormitus
- Pistekuormitus
 - Teollisuus
 - Asutus
- Hajakuormitus
 - Metsätalous
 - Maatalous
 - Ilmansaasteet

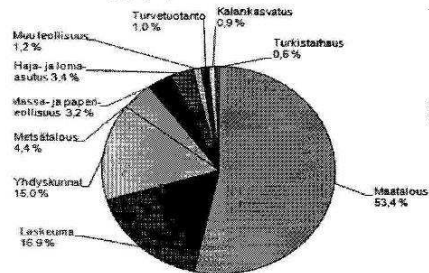
Vaihe 8.

Fosforipäästölähteet



Vaihe 8.

Typpipäästölähteet



Vaihe 9.

Rehevöitymisen eteneminen

- Vaikutus ravintoketjuun
 - Kasviplanktonin, eläinplanktonin, kalojen, rantakasvillisuuden määrä kasvaa
 - Hajoitustoiminta kiihtyy
 - Happi vähenee järvestä
- Happikato (erityisesti talvisin)
 - Hapettomissa oloissa sedimentistä liukenee ravinteita veteen: SISÄINEN KUORMITUS
 - Biomassa kasvaa
 - Rehevöityminen kiihtyy
- Järvestä ei poistu niin paljon ravinteita kuin sinne tulee

Vaihe 10.

Rehevöitymisen seurauksia

- Happikato
- Kalakuolemat
- Sinilevät
- Umpeenkasvu

Vaihe 11.

- Tehtävä: Lue kirjan sivu 94
 - Miten järven rehevöitymistä voidaan hillitä?