

KEHITTÄMISTUTKIMUS: ELINKAARIAJATTELU JA TUTKIMUKSELLINEN OPISKELU KEMIAN OPETUKSESSA

Marianne Juntunen, Pro Gradu -tutkielma

24.5.2011, Kemian opetuksen keskus, Kemian laitos, Helsingin yliopisto
Ohjaajat: Maija Aksela & Timo Repo

Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta		Laitos Institution – Department Kemian laitos
TekijäFörfattare – Author Marianne Juntunen		
Työn nimi Arbetets titel – Title Kehittämistutkimus: Elinkaariajattelu ja tutkimuksellinen opiskelu kemian opetuksessa		
Oppiaine Läroämne – Subject Kemia (Kemian opetus)		
Työn laji Arbetets art – Level Pro Gradu -tutkielma	Aika Datum – Month and year 24.5.2011	Sivumäärä Sidoantal – Number of pages 56 + 31
Tiivistelmä Referat – Abstract Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää ja edistää tutkimuksellista ja ympäristövastuullista kemian opetusta, joka parantaa oppilaiden ympäristötietoisuutta, -asenteita ja kuvaa luonnontieteiden roolia ympäristöongelmien ratkaisijana. Tutkimuksessa haettiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin: (i) Minkälaisia haasteita on ympäristöaiheisen kemian kouluopetuksen kehittämisessä? (ii) Minkälaisia tutkimuksellisen opiskelun opetusmalleja kemian opettajat kehittävät omaan opetukseensa elinkaariajatteluun liittyen? Teoreettisessa viitekehyksessä on tarkasteltu ympäristöaiheisen kemian opetuksen nykytilaa Suomessa ja vihreän kemian, elinkaariajattelun ja tutkimuksellisen opiskelun käsitteitä. Lisäksi on perehdytty nuorten asenteisiin kemian opiskelua ja ympäristönsuojelua kohtaan sekä selvitetty kemikaalien ympäristöturvallisuuteen liittyvää sääntelyä kansallisella, EU-alueen ja globaalilla tasolla. Tutkimus toteutettiin kehittämistutkimusmenetelmällä ja kvalitatiivisella tutkimusotteella. Se sisälsi kaksi päävaihetta: Teoreettisen ongelma-analyysin ja empiirisen opetusmallien kehittämisen. Kohderyhmänä olivat perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelmat, oppikirjat ja kemian opettajien kehittämä opetusmalli täydennyskoulutuskurssilla. Tutkimusaineisto käsiteltiin aineistolähtöisenä sisällönanalyysinä. Tutkimuksessa nousi esille useita haasteita liittyen ympäristöaiheisen kemian kouluopetuksen kehittämiseen. Opettajat tarvitsevat tukea tutkimuksellisen opiskelun ja elinkaariaiheiden opetukseen. Tutkimukselliset opiskelumenetelmät ja ympäristö- ja elinkaariaiheet ovat osa peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmia, mutta niiden käsittely kemian oppikirjasarjoissa on vähäistä. Kansainväliset asiantuntijayhteisöt peräänkuuluttavat kemian opetukseen uusia, tutkimuksellisia opiskelutapoja, joiden on todettu innostavan oppilaita luonnontieteiden opiskelussa ja tukevan monipuolisten taitojen kehittymistä. Kemian opettajat ovat tuoneet ympäristöön liittyvän opetuksen esille tärkeänä kehittämisalueena. Vastauksena haasteisiin järjestettiin opettajille ympäristöaiheista täydennyskoulutusta, jossa kehitettiin yhteisöllisesti opettajien kanssa tutkimuksellisia, elinkaariaiheisia kemian opiskelun opetusmalleja. Näistä malleista yksi täytti sille asetetut tavoitteet. Opetusmallissa yläkoulun oppilas jäsentelee itse valitsemansa tuotteen elinkaarta omista kiinnostuskohteistaan ja kysymyksistään liikkeelle lähtien. Opetusmallin avulla tuodaan oppilaan arkea lähelle se, kuinka kemian osaamisella ja omilla valinnoilla vaikutetaan ympäristön tilaan. Jatkossa tarvitaan lisätutkimusta, tukeeko kehitetty opetusmalli oppilaan kiinnostusta ja positiivisempia asenteita ympäristönsuojelua ja kemian opiskelua kohtaan.		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords tutkimuksellinen opiskelu, elinkaari, vihreä kemia, kehittämistutkimus		
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Kemian laitos		

Sisällysluettelo

1.	Johdanto	3
2.	Ympäristö kemian opetuksessa	4
2.1	Elinkaariajattelu	8
2.2	Elinkaariajattelu ja vihreä kemia	10
2.3	Kemikaalit ja ympäristöturvallisuus - sääntely	13
i.	Kansallinen taso - Suomi	14
ii.	EU-taso	15
iii.	Globaalitaso	18
2.4	Opetuksen haasteet	19
iv.	Asenteet kemian opiskelua kohtaan	21
v.	Asenteet ympäristön suojelua kohtaan	22
3.	Tutkimuksellinen opiskelu	25
3.1	Määritelmä	26
3.2	Työtavan käyttö opetuksessa	27
3.3	Tutkimuksellisen opetuksen haasteet	31
4.	Kehittämistutkimus	33
4.1	Tavoitteet	35
4.2	Menetelmät	35
i.	Perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelmien analyysi	36
ii.	Oppikirjojen analyysi	38
iii.	Opettajien täydennyskoulutus	38
4.3	Aineiston analyysi	40
4.4	Tutkimuksen luotettavuus	40
5.	Tulokset	44
5.1	Ympäristökemian kouluopetuksen haasteet	47
5.2	Ympäristöaiheiset kemian tutkimuksellisen opiskelun opetusmallit	47
5.3	Opetusmallin yhteisöllinen kehittämisprosessi	50
6.	Johtopäätökset ja pohdinta	54
	Lähteet	58
	Liitteet	68

Liite 1. Kemikaalien ympäristöturvallisuuden sääntelykenttä

Liite 2. Analysoidut kirjasarjat koodattuina kirjaimille A – K

Liite 3. Elinkaariajattelu tutkimuksellisen kemian opetuksen tukena 2010 – täydennyskoulutuskurssin jälkeen osallistujien täyttämä palautelomake

Liite 4. Opetusmalli yläkouluun: Vapaavalintaisen tuotteen elinkaaren arviointi

Liite 5. Opetusmalli lukioon: Kemia 5 -kurssi, Reaktiot ja tasapaino

Liite 6. Opetusmalli ammattikouluun: Puuvillan tuotannon ja käytön vaikutus ympäristöön

Liite 7. Opetusmalli yläkouluun: Vapaavalintaisen tuotteen elinkaaren arviointi – Opettajan ohje ja oppilaan ohje

Liite 8. Harjoitustyön arviointimatriisi (Niemelä et al., 2010)

Liite 9. Täydennyskoulutuksessa käsiteltyjä verkkosivustoja ja opetusmateriaaleja

1. Johdanto

Valtakunnallisissa perusopetuksen ja lukion luonnontieteiden opetussuunnitelmien perusteissa edellytetään, että oppilas osaa tehdä ympäristövaikutusten perusteella valintoja kuluttajana. Ympäristönäkökulmat painottuvat luonnontieteiden osalta vahvasti (Opetushallitus, 2003; Opetushallitus, 2004). Kemian opettajat kuitenkin luonnehtivat nykyistä ympäristöopetuksen käsittelyä yleiselle tasolle jääväksi, oppilaan arjesta kaukaiseksi ja tuovat ympäristöön liittyvän opetuksen esille tärkeänä opetuksen kehittämisalueena (Aksela & Karjalainen, 2008; Feierabend, 2011).

Uusin tutkimustieto painottaa paitsi ympäristönsuojelun merkitystä, niin myös ongelma-peräisen, tutkimuksellisen opetuksen lisäämistä kouluopetuksessa (The Inter Academy Panel, 2010; Rocard, Csermely, Jorde, Lenzen, Walber-Henriksson & Hemmo, 2007; Lyytimäki, 2011; FAO, 2006). Eurooppalaisten nuorten kiinnostus luonnontieteiden opiskeluun on laskenut hälyttävästi (Rocard et al., 2007). Myös suomalaisten, erityisesti poikien, ympäristönsuojelulliset asenteet ja teot ovat muuttuneet lyhyellä aikavälillä negatiivisemmiksi (Asunta, 2003; Haavisto & Kiljunen, 2011).

Tutkimuksellisen opiskelun on osoitettu innostavan nuoria luonnontieteiden opiskeluun (Rocard et al., 2007; Väliisaari & Lundell, 2008). Kouluopetuksen tulisi korostaa enemmän sitä, miten luonnontieteellinen tieto on osa arkielämää ja muuttuvaa yhteiskuntaa (Holbrook, 2010). Tutkimuksellisen opiskelutapojen lisäksi ehdotetaan tiiviimpää yhteistyötä koulujen, yritysten, tutkijoiden, insinöörien, yliopistojen, asuinkunnan, vanhempien, järjestöjen ja muiden paikallisten toimijoiden välille (Rocard et al., 2007).

Ympäristöystävällisten aineiden ja menetelmien kehittämisessä, sekä ympäristöongelmien seurannassa ja ratkaisemisessa tarvitaan kemian osaajia (Kemianteollisuus ry, 2011). Päätoimisesti ympäristöliiketoimintaa harjoitti Suomessa vuonna 2009 noin 720 yritystä, yhdeksällä eri toimialalla. Näiden

yhteenlaskettu liikevaihto oli 1,53 miljardia euroa (noin 3 % valtion 50 miljardin euron vuosibudjetista), jolla mitattuna merkittävin toimiala oli lajiteltujen materiaalien kierrätys. (Tilastokeskus, 2009) Kestävää kulutusta ja tuotantoa edistetään vahvasti myös globaalisti, esimerkiksi Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö OECD:n tasolla (OECD, 2011).

Ympäristöopetuksen nykytila on huolestuttava. Selvästi kemian opetukseen tarvitaan uusia, innostavampia lähestymistapoja, jotka syventävät oppilaiden näkemystä opiskelun yhteiskunnallisesta merkityksestä. (Holbrook, 2010) Jos opettajille tarjotaan riittävästi tukea uusien työtapojen käyttöönottoon, opetuksen laatu ja samalla heidän työmotivaationsa nousee (Rocard et al., 2007). Ympäristöaiheinen, tutkimuksellista opiskelua hyödyntävä opetusmateriaali ja aihepiiristä opettajille järjestettävä täydennyskoulutus ovat keinoja tukea opettajia (Tung, Huang & Kawata, 2002). Tämän tutkimuksen tavoitteena on vastata edellä esitettyihin haasteisiin.

2. Ympäristö kemian opetuksessa

Ympäristöaiheisessa kemian opetuksessa tarkastellaan kemiallisten aineiden alkuperää, reaktioita, kulkeutumista, muuntumista ja vaikutuksia. Valtakunnallisissa perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelmissa painottuu kemian osalta opetussuunnitelmien kaikilla tasoilla ympäristönäkökulma. Opetussuunnitelmissa yhdeksi keskeiseksi aihekokonaisuudeksi on nostettu vastuu ympäristöstä, hyvinvoinnista ja kestävästä tulevaisuudesta. Tämän aihekokonaisuuden tavoitteena on lisätä oppilaan valmiuksia ja motivaatiota toimia ihmisen ja ympäristön hyvinvoinnin puolesta. (Opetushallitus, 2003; Opetushallitus, 2004) Käytännössä oppilaiden vihreän kemian taidot (ks. luku 2.2) tarkoittavat kykyä osallistua keskusteluun ja päätöksen tekoon, oman vastuun ja vaikutusmahdollisuuksien ymmärtämistä ja tulevaisuuden asiantuntijoiksi kasvamista (Kemianteollisuus ry, 2011).

Ympäristöaiheisessa kemiassa opettajat käsittelevät opetuksessa mm. seuraavia aihealueita: happamoituminen, kierrätys, ilmaston muutos, ongelmajätteet, säästäminen, kemikaalien käsittely, vesitalous, pienet reagenssimäärät, otsonikato, kemikaalit luonnossa, energia, kestävä kehitys ja tuotteiden elinkaari. Kouluissa ympäristötietoa tulee useissa oppiaineissa ja eri aihepiirejä käsitellen. (Taskinen, 2008) Koulun sisällä yhteistyötä tehdään eniten biologian kurssien kanssa. Suosituin teema on vesi, sillä koulujen välineistö mahdollistaa parhaiten vesitutkimukset. (Lumivaara & Aksela, 2002)

Opettajilla on mahdollisuus integroida ympäristöaiheista kemiaa esimerkiksi fysiikan, biologian, maantiedon, historian, yhteiskuntaopin ja kotitalouden kanssa. Myös kielten ja taito- ja taideaineiden opetukseen löytyy yhtymäkohtia. Merkittävin yhteinen ympäristöön liittyvä teema on kierrätys. Biologiassa, maantiedossa ja kemiassa on useita toisiaan sivuavia ympäristöteemoja, kuten ilmastonmuutos, vesistöjen saastuminen ja ympäristökasvatus. Fysiikassa ympäristöteemoja lähestytään energiantuotannon kautta. Käsiteltäviä teemoja ovat esimerkiksi raaka-aineet, tekniikka, kuluttaminen ja säästäminen. Historiassa ympäristöteemoihin paneudutaan historian tapahtumien ja yhteiskuntaopissa ajankohtaisten ympäristöön liittyvien uutisten yhteydessä. Taito- ja taideaineista eniten ympäristöteemoja käsitellään kotitaloudessa, jossa esille nousevat kuluttaminen, taloudellisuus ja kierrättäminen. Teknisessä työssä ja kuvataiteessa teemat nousevat esille materiaalivalinnoissa ja työtavoissa. Ympäristöaiheita käsitellään yleisesti projektiviikkojen tai -päivien yhteydessä. (Eloranta, 1995; Taskinen, 2008; Opetushallitus, 2003; Opetushallitus, 2004).

Ympäristöön liittyvä kemian opetus yhdistää oppilaille usein erilliset koulun kemian ja arkielämän kemian. (Aksela & Karjalainen, 2008; Taskinen, 2008) Kemian tunneilla voidaan käsitellä esimerkiksi taulukkoon 1. koottuja teemoja liittyen ympäristöasioiden tutkimiseen sekä ongelmien havaitsemiseen, ratkaisemiseen, seurantaan ja ehkäisyyn (vrt. Mark & Eilks, 2010; Anastas & Lankey, 2000)

Taulukko 1. Ajankohtaisia kemian alankin ratkaisumalleja vaativia ympäristökysymyksiä aakkosjärjestyksessä. Mukailten (Lyytimäki, Rinne & Nisonen, 2011; FAO, 2006; Lyytimäki, 2006). Taulukko ei ota kantaa ongelmien hierarkiaan tai mittakaavaan.

1.	Biodiversiteetin köyhtyminen (sukupuutto, uhanalaisuus, korallien vaaleneminen, alkuperäislajien kato)	2.	Energian tuotanto (uusiutuvat, uusiutumattomat)
3.	Geenimuuntelu (saastuminen, hallitsemattomat vaikutukset)	4.	Ilman saastuminen (sumu, troposfäärinen otsoni, haihtuvat orgaaniset yhdisteet, pienhiukkaset, PAH, SO _x , NO _x)
5.	Ilmastonmuutos (kasvihuonekaasut, merten happamoituminen, tuuli- ja merivirtojen muutokset, merenpinnan nousu)	6.	Jätteet (elektroniikka, muovit, valumat, kierrätys, jätteenpoltto)
7.	Maan pilaantuminen (saastuminen, aavikoituminen, happamoituminen, kaivokset)	8.	Nanoteknologia (myrkyllisyys, saastuminen, hallitsemattomat vaikutukset)
9.	Otsonikato (halogenoidut hiilivedyt, radikaalit)	10.	Tekoaltaat (muutokset virtausympäristössä)
11.	Tehomaatalous (maaperän köyhtyminen, kastelu, monokulttuurit, eläintuotannon päästöt ja energian kulutus, torjunta-aineet, metsäkato)	12.	Veden saastuminen (happamoituminen, rehevöityminen, öljyvudot, lämpeneminen, muovijäte, biokertyvät yhdisteet)
13.	Vesistöjen happikato (vähähappisuus, hapettomuus)	14.	Ydinsäteily (voimalat, aseet, laskeuma, jätteet)
15.	Yleinen saastuminen (valo, melu, visuaalinen, materia)	16.	Ylikalastus (pohjatroolauus, salakalastus)
17.	Ylikansoitus (jätteet, vesikriisi, nälänhätä, taudit)	18.	Ylikulutus (kulutuskapitalismi)
19.	Ympäristön muuttuminen (metsäkato, rehevöityminen, elinympäristöjen tuhoutuminen, ilmastonmuutokset)	20.	Ympäristön terveys (ilmanlaatu, elektromagneettinen säteily ja biokertyvät, hormonihäiritsijä-, karsino- ja teratogeeniyhdisteet)

Ihmisen vastuuttomasta toiminnasta johtuvien kriisien ratkaisemiseksi kemian kouluopetuksessakin peräänkuulutetaan vastuullisuuden ja etiikan pohdintaa. (Dondi, 2011; Feierabend, Jokmin & Eilks, 2011; Holbrook, 2010; Bösch, Lenoir & Scheringer, 2003) Suomessa ei ole laadittu systemaattista suunnitelmaa lasten ja nuorten ympäristöarvokasvatukselle. Tutkimukset ja eri opetussuuntien kannattajat eivät ole yksimielisiä edes kemian opetuksen

tärkeimmistä tavoitteista. Käsitteellistä muutosta kannattavien tutkijoiden mielestä oppilaan osaamista kuvaa parhaiten hänen kykynsä selittää kemian tapahtumia tieteellisin termein. Ongelman ratkaisua tärkeimpänä pitävät painottavat ongelman ratkaisutaitojen mittaamista, kun taas STS-tietoja (engl. science, technology and society) painottavat arvioisivat ensisijaisesti oppilaiden STS-ymmärtämistä ja -tietoja. Myös asenteita on ehdotettu yhdeksi arviointiperusteeksi. (Asunta, 2003)

Vihreän kemian kurssi sisältyy suomalaisissa lukioissa noin 30 % opetussuunnitelmaan. Kuitenkin lähes kaikki lukio-opettajat integroivat sitä jossain määrin jo olemassa olevien kemian kurssien yhteyteen. Yli 80 % ympäristöpainotteisen kemian kurssin toteuttaneista tekee yhteistyötä erilaisten yritysten ja organisaatioiden kanssa. Yhteistyökumppaneina toimivat esimerkiksi kemian teollisuuden yritykset, jätevedenpuhdistamot, kaatopaikat, vesilaitokset, ilmatieteenlaitos ja ympäristökeskukset. Vihreän kemian kurseilla työtapana suosittiin kokeellisuutta ja oppilaiden keräämiä näytteitä. Pari- ja ryhmätöiden, omatoimisen työskentelyn sekä erilaisten vierailukäyntien koettiin soveltuvan vihreän kemian opetukseen. Käytetty materiaali oli monipuolista ja erityisesti tuotiin esille yhteistyökumppaneilta saadut esitteet ja materiaalit. (Aksela & Karjalainen, 2008)

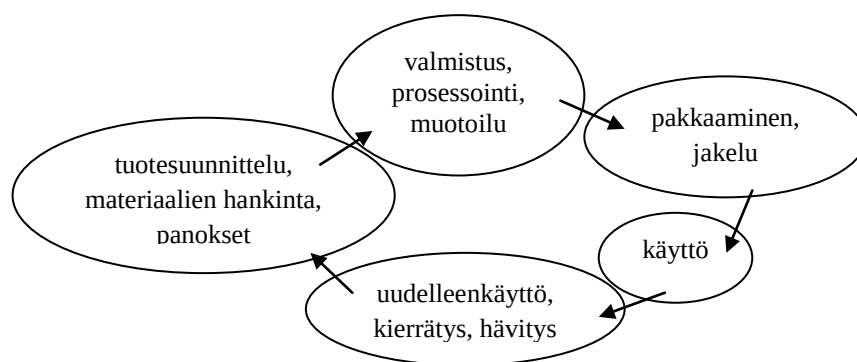
Tässä tutkimuksessa eettisesti vastuullisella kemian opetuksella tarkoitetaan pyrkimyksiä edistää ymmärrystä, arvoja ja taitoja, jotka liittyvät esimerkiksi taulukkoon 1. koottujen ympäristöongelmien kanssa elämiseen ja niiden ratkaisemiseen. Ympäristökriisi kuvastaa ympäristömyönteisten asenteiden ja ympäristövastuullisen toiminnan välisiä ristiriitoja niin yhteiskunnan systeemien (= markkinoiden ja valtionhallinnon), instituutioiden (= talouden, politiikan, yhteiskunnallisten liikkeiden, kasvatuksen) kuin arkielämänkin tasolla. (Louhimaa, 2002)

Ympäristökasvatukselle voidaan erottaa kuusi mahdollista kontekstia: tieto, tunne, kokemus, arvo, asenne ja toiminta. Lisäksi sille voidaan erottaa ainakin kolme näkökulmaa: 1) tieto ihmisen ja luonnon suhteesta, 2) erilaisten taitojen

ja kykyjen kehittäminen ja 3) vastuullisten asenteiden ja ympäristön arvostuksen kehittäminen. (Louhimaa, 2002) Tässä tutkimuksessa sovelletaan vastuullisuuskasvatusta yksinkertaistamalla elinkaariajattelua sopimaan tutkimukselliseen kemian kouluopetukseen.

2.1 Elinkaariajattelu

Elinkaariajattelun syvempään ymmärtämiseen sen jokaisella tasolla tarvitaan kemiaa. (Anastas & Lankey, 2000) Yksinkertaistaen tuotteen elinkaaren suunnittelun ja valmistuksen tasot ovat vihreää kemiaa (ks. kpl 2.2) ja näistä ja tuotteen käytöstä aiheutuneiden ongelmien tutkiminen ja seuranta ympäristökemiaa. Tuotteen elinkaari alkaa sen suunnittelusta ja materiaalien hankinnasta prosessointiin. Valmistusvaiheen jälkeen tuote pakataan käyttövalmiiksi ja käytön jälkeen, elinkaarensa lopussa, tuote päättyy joko uudelleen käytettäväksi tai jätteeksi. Tuotteen elinkaareen kuuluvia vaiheita on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva1. Tuotteen elinkaaren vaiheet. Mukailten (Anastas ja Lankey, 2000).

Tuotteen, prosessin tai toiminnon ympäristövaikutuksien suuruutta voidaan arvioida elinkaarianalyysin, LCA (engl. Life Cycle Assessment) avulla. Kvantitatiivinen menettely on kasvavasti suosittu, laaja-alaisesti yrityksissä ja julkishallinnossa käytössä oleva, päätöksenteon väline. Elinkaarianalyysin toteutuksessa voidaan erottaa neljä eri vaihetta: 1) Päätetään tutkimuksen kohde ja laajuus. 2) Kerätään relevantti inventaariodata. 3) Lasketaan datasta vertailuluvut ja arvioidaan osion vaikutuksia eri kategorioissa. 4) Muodostetaan johtopäätöksiä vaikutuksista ja tiedon luotettavuudesta ja

verrataan tuloksia analyysin tavoitteisiin. (Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto – elinkaarianalyysi, 2011) Elinkaarianalyysin toteutusta on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2. Elinkaarianalyysin osa-alueet.

Vertailukelpoisen LCA-analyysin toteutus on monimutkainen ja asiantuntijuutta vaativa prosessi. Elinkaarianalyysien tekoa voi opiskella jo useissa yliopistoissa pääaineena (New Yorkin Columbia-yliopisto, 2011) (Stuttgartin yliopisto, 2011) tai erillisinä pääaine-tason kursseina (Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2011). Analyysyjä toteutetaan erityisillä tietokoneohjelmilla. Niihin kootaan tuotanto- tai toimintoketjun eri vaiheiden panoksia, kuten kulutettua energiaa, vettä ja materiaaleja (engl. inputs) sekä päästökuormitusta ilmaan, veteen tai maaperään (engl. outputs). Elinkaarianalyyseissä esille tulevat päästöt jakautuvat todellisuudessa usein lukuisiin kategorioihin. Näitä luokkia ovat muun muassa aavikoittamis-, happamoittamis-, ilmastolämmittämis-, otsonin tuhoamis-, rehevöittämis-, ja toksisuuspotentiaalit alaluokkineen. (Stuttgartin yliopisto, 2011) Haasteena on tiedon standardointi: Kuinka löytää vertailukelpoista, relevanttia ja uutta dataa? Analyysin teettäjän tavoitteista riippuu, mitä muuttujia elinkaariarviointiin halutaan sisällyttää. Tavoitteena on yleensä löytää ympäristöä kuormittavin ja kallein tekijä. Tavoitteista riippuen voidaan arvioinnissa painottaa ympäristövaikutusten lisäksi myös taloudellisia, sosiaalisia tai ekologisia näkökulmia. (Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto – elinkaariarviointi, 2011; Anastas & Warner, 1998; Böschén et al., 2003)

Validoitua, standardoitua dataa sisältävä LCA on käytössä muun muassa prosessien tai tuotteiden vertailussa ja ympäristömerkkien myöntämisessä. LCA toimii apuna tuotekehityksessä, investointipäätöksissä, tiedottamisessa ja markkinoinnissa. (Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto – elinkaarianalyysi, 2011) Kvantitatiivisena ympäristöjohtamisen työkaluna LCA täydentää kemian alalla esimerkiksi vihreän kemian kahtatoista kvalitatiivisia periaatteita (Anastas & Warner, 1998).

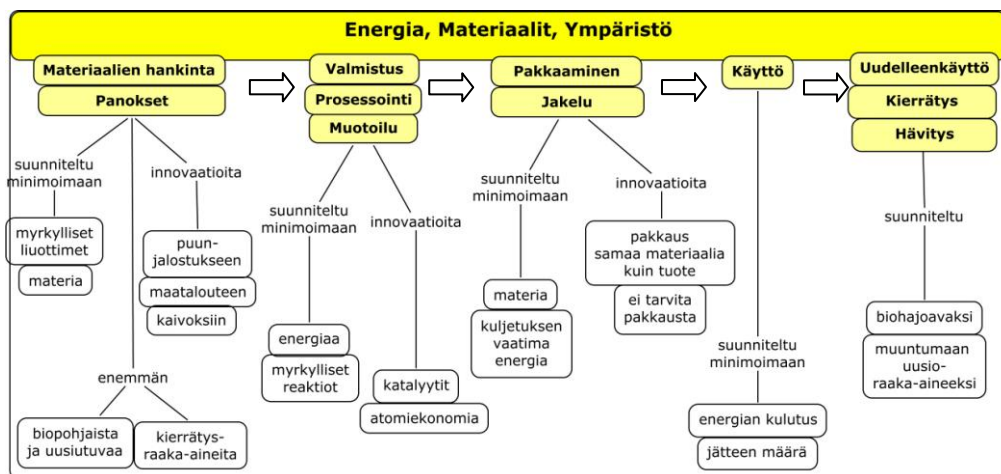
2.2 Elinkaariajattelu ja vihreä kemia

Halu kehittää ympäristöystävällisempiä toimintatapoja ja huoli maapallon tulevaisuudesta johtivat vihreän kemian käsitteen käyttöönottoon 1990-luvulla. Vihreään kemiaan liittyy 12 keskeistä periaatetta (Anastas & Warner, 1998):

1. Jätteen synnyn ehkäisy
2. Atomiekonomia
3. Vaarattomat kemialliset synteesit
4. Turvallisten kemikaalien suunnittelu
5. Turvallisten liuottimien käyttö ja apuyhdisteiden käytön välttäminen
6. Energian käytön minimoiminen
7. Uudistuvien lähtöaineiden käyttö
8. Tarpeettoman johdosten- muodostumisen välttäminen
9. Katalyyttien suosiminen
10. Tuotteiden hajoaminen elinkaaren lopussa
11. Reaaliaikaiset analyysit
12. Onnettomuuksien välttäminen esimerkiksi oikeilla kemikaalivalinnoilla

Vihreä kemia luo ympäristönsuojelullisia innovaatiota tuotteen elinkaaren kaikkiin vaiheisiin. Periaatteet näkyvät esimerkiksi raaka-aineiden ja lisäaineiden valinnassa ja hankinnassa, haitallisten aineiden käytössä ja käytön vähentämisessä, säästävässä veden käytössä, materiaalitehokkaassa tuotantoteknologiassa, prosessien seurannassa, säädössä ja optimoinnissa,

varastoinnissa, materiaalien siirrossa, pakkaamisessa, logistiikassa, kunnossapidossa, jätevesien ja päästöjen puhdistuksessa, jätteen hyötykäytössä ja jätteen määrän ja haitallisuuden minimoinnissa (ks. myös kuva 3). (Huhtinen et al., 2010) Tuotteen elinkaaren vaiheita materiaalien hankinnasta, valmistuksen, jakelun ja käytön kautta loppukäsittelyyn on havainnollistettu kuvassa 3. Vihreä kemia tarjoaa kvantitatiivisia keinoja vastata tuotteen tai prosessin elinkaarianalyysissä ilmeneviin ongelmiin. Kehittyvien tutkimusmenetelmien ja tekniikoiden avulla voidaan saavuttaa kestävämpää teknologiaa ja toteuttaa eettisesti vastuullista kemiaa. (Anastas & Lankey, 2000)



Kuva 3. Vihreän kemian mahdollisuuksia luoda innovaatiota tuotteen elinkaaren eri vaiheisiin. Mukaillen (Anastas & Lankey, 2000).

Vihreä kemia tarkoittaa kemian osaamisen käyttämistä ympäristön saastumisen ehkäisyyn jo molekyylin ja reaktion suunnittelun tasolta lähtien. Vihreä kemia vaikuttaa tuotannon vaaroihin sen aivan ensimmäisellä tasolla: molekyyalitasolla. Kemiallisen yhdisteen vaaralliset ominaisuudet ovat kiinni molekyylin ominaisuuksista, kuten sen koosta ja elektroniprofiilista. Kemistit osaavat manipuloida aineen ominaisuuksia vähentämään tai poistamaan sen aiheuttamaa vaaraa. Kun aineen turvallisuutta lisätään jo aivan elinkaaren alussa molekyyalitasolla, vaikutukset ulottuvat sen koko käyttöön. Samaa efektiä ei ole elinkaaren tietyn vaiheen kontekstiin sidotuilla muutoksilla, kuten työntekijöiden koulutuksella tai päästösuodattimen asennuksella.

(Anastas & Lankey, 2000; Böschén et al., 2003) Vihreä kemia voidaankin erottaa perinteisestä ympäristönsuojelusta siten, että se

- 1) keskittyy kemiallisen aineen vaaraan,
- 2) tarkastelee molekyylin kaikkien elinkaarivaikutuksia jo suunnittelu vaiheessa
- 3) on taloudellisesti tuottoisaa,
- 4) ei ole säädeltyä ja
- 5) estää ongelmia etukäteen. (Anastas & Lankey, 2000)

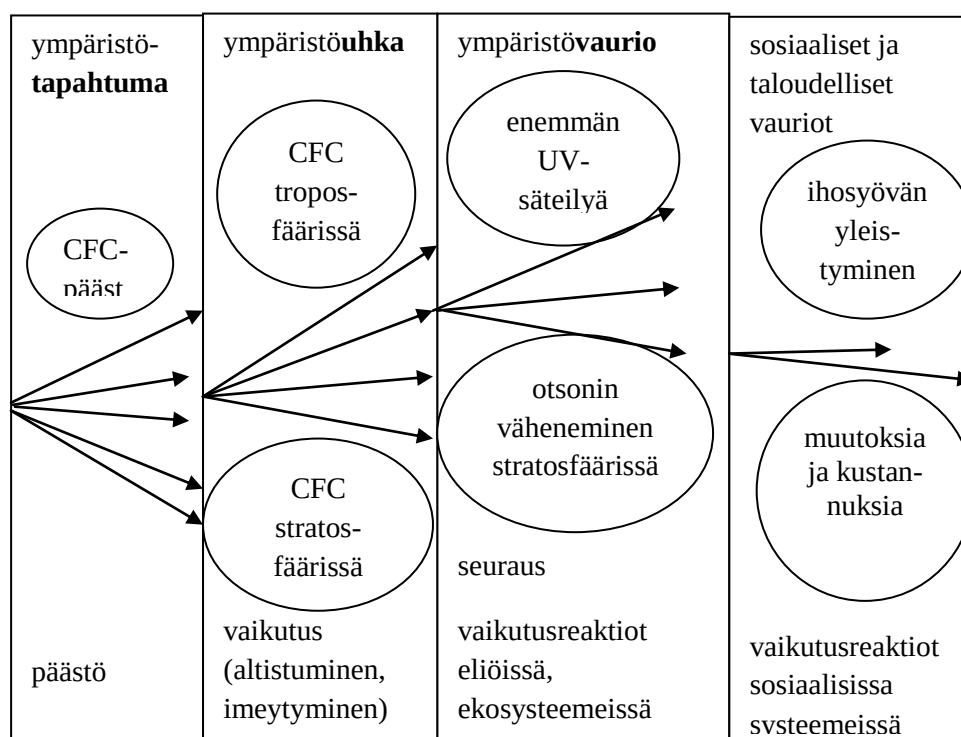
Kemian prosessit ja tuotteiden suunnittelu linkittyvät vihreän kemian avulla ympäristö- ja terveystieteisiin. (Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto – johdatus vihreän kemian käsitteeseen, 2011) Ympäristölupien hakuprosesseissa oletetaan, että yritys soveltaa parhaan käyttökelpoisen tekniikan (engl. best available technology, BAT) käsitettä materiaalihokkuuteen ja osoittaa materiaaliavarojen ympäristöhallinnan dokumentoinnilla (esimerkiksi ISO-standardilla). (Huhtinen et al., 2010) Muunlaista vastuullista ja kestävästä kemiaa voidaan toteuttaa myös esimerkiksi lainsäädännön, tekniikan ja yksilön valintojen tasolla. (Böschén et al., 2003)

Vihreän kemian periaatteiden noudattaminen on moderni ja laaja-alainen osa kemian tutkimusta ja sen opettamista. Helsingin yliopiston kemian laitoksen tutkimuksen yhtenä pääpainopistealueena vuosina 2010 – 2013 on vihreä kemia (Kemiauutiset, 2011). Laajempaa tietoisuutta vihreän kemian käytännöistä ja jatkuvaa kehitystyötä tarvitaan, jotta vihreän kemian potentiaali tulee kasvavasti hyödynnetyksi ja tavoittaa yhä merkittävämmät mittasuhteet. (Hjeresen, Schutt & Boese, 2000) Tätä ajamaan on perustettu vuonna 1997 kansainvälinen Vihreän kemian instituutti (engl. Green Chemistry Institute), joka on teollisuuden, yliopistojen, järjestöjen ja hallitusten edustajien muodostama yhteisö. Se pyrkii edistämään vihreän kemian osa-alueiden täytäntöönpanoa tutkimuksen, koulutuksen, konferenssien, symposiumien ja tiedon levittämisen kautta. (Vihreän kemian instituutti, 2011) Suomen Kemianteollisuus ry. pyrkii huomioimaan ympäristönäkökohtia Responsible

Care – ohjelmallaan. Kokonaisten tuoteketjujen hallinta vaatii myös aivan uudenlaista osaamista ja eri tieteenalojen yhteispeliä ongelmakysymysten ratkaisemiseksi. (Nikander, 2010) Toteutettuja elinkaariaiheisia täydennyskoulutuksia ja opetusmallien kehittämistä varten tähän tutkimukseen on koottu tietoa myös kemikaalien ympäristöturvallisuuteen liittyvästä sääntelystä.

2.3 Kemikaalit ja ympäristöturvallisuus - sääntely

Riskitietoisuus kemiaan liittyen lisääntyi selkeimmin 1900 -luvun puolivälin jälkeen. Nykyään käytössä on maailman laajuisesti valtava joukko kemikaaleja, joista suuren osan terveys- ja ympäristövaikutuksia ei tarkkaan tunneta. Elinkykyn, suvun jatkamiseen tai muuhun terveyteen liittyvät ei-toivotut vaikutukset ovat moninaisia: akuutteja tai kroonisia ja yksilö-, laji- tai biotooppikohtaisia. (Hartonen, 2009) Ympäristöongelman muodostumista ja vaikutuksia on havainnollistettu kuvassa 4.



Kuva 4. Ympäristöongelman muodostuminen. Ympäristöuhkaa arvioidaan indikaattorein, kuten pysyvyydellä ja vaikutusalueella. (Böschen et al., 2003)

Kemikaalioikeus on jatkuvasti kehittyvä oikeuden ala, sillä kemikaaleihin liittyy useilla kaupallisilla sektoreilla merkittävää liiketoimintaa ja valtavia ainevirtoja. Kemikaaleista aiheutuu globaaleja ja paikallisia ympäristöongelmia, joiden hallitseminen edellyttää paitsi vihreän kemian käytänteitä myös kansainvälistä yhteistyötä ja yhteisiä standardeja. Elinkaarianalyysit ovat pieni osa tätä kemikaali- ja ympäristöturvallisuuden hallintapalettia. Niiden avulla voidaan toteuttaa ja seurata vastuullisen kemian toteutumista. (Anastas & Lankey, 2000; Bösch et al., 2003) Ympäristöturvallisuuden hallinnoinnin ja johtamisen kirjavassa toimintakentässä, elinkaarianalyysit liittyvät tiivistivät esimerkiksi ISO 14 000 standardeihin. Kemikaalisääntelystä on tehty tämän tutkimuksen empiirisessä osassa yhteenveto järjestettyjä opettajien täydennyskoulutuksia varten (ks. luku 4). Yhteenvedossa esitetään kemikaalisääntelykentän eri osat ja toteutuksen ilmentymät ja se on esitetty liitteessä 1.

i. Kansallinen taso - Suomi

Suomessa kemikaalisääntely kuuluu ympäristö-, kaupp- ja työoikeuden vaikutuspiiriin. Kemikaalilaki on säädellyt kemian toimialaa laajana yleislakina vuodesta 1989. Siihen on kirjattu kemikaalien käsittelyyn liittyvät vastuut ja velvollisuudet, kuten selvilläolo-, valinta-, huolehtimis-, tiedonanto- ja eläinkokeiden välttämismvelvollisuus. Yksityiskohtaisempaan kemikaaliturvallisuuslakiin on kirjattu vaaralliset aineet ja niihin liittyvät säännökset, kuten lupamenettelyt ja käytön suunnittelu. Lain tarkoituksena on torjua ja ehkäistä vahinkoja. Muita erityisesti kemian alaa koskevia lakeja ovat muun muassa kemikaaliturvallisuuslaki, kasvinsuojelulaki, jätelaki, työturvallisuuslaki, ympäristönsuojelulaki, geenitekniikkalaki ja säteilylaki. (Hartonen, 2009)

Suomessa kemikaaliasioita on käsitelty hajallaan mm. Elintarvikevirastossa (Evira), Turvatekniikan keskuksessa (TUKES), Suomenympäristökeskuksen kemikaaliyksikkö ja Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirastossa

(Valvira). Nämä viranomaistahot yhdistävät voimansa vuonna 2011 kansalliseksi kemikaalivirastoksi. Kemikaalivalvontatehtävät keskitetään vuonna 2011 TUKESiin, jonka nimi muuttuu samalla kansalliseksi kemikaaliviranomaiseksi, Turvallisuus- ja Kemikaalivirastoksi. Ennen tehtävät olivat jakautuneet TUKESin, Valviran, Suomen ympäristökeskuksen ja Eviran kesken. (Hartonen, 2009)

Lainsäätäjien haasteena on tuotantolähtöisen lainsäädännön muutos tuoteketjulainsäädännön suuntaan. Myös Suomen Kemianteollisuuden yritysten omaehtoinen Responsible Care (1992) laajeni vuonna 2006 perinteisestä tuotantopainotteisesta kohti laaja-alaisempaa tuotteiden ja tuotantoketjujen hallintaa ja vastuullisuustarkastelua. Kemianteollisuus ry ja Responsible care -ohjelma näkevät erilaisten jalanjälkien määrittämisen haasteena, johon kemia voi tarjota lukuisia ratkaisuja. (Nikander, 2010)

ii. EU-taso

Yhdistyneiden kansakuntien (YK) GHS (engl. globally harmonized system) -järjestelmä on toimeenpantu EU-alueella CLP (engl. classification, labelling and packaging of substances and mixtures) -asetuksella 2009 ja käyttöturvatiiedoiteiden osalta REACH (engl. registration, evaluation, authorisation of chemicals) -asetuksella 2007. CLP velvoittaa valmistajat, maahantuoja ja jatkokäyttäjät yhdenmukaiseen aineiden ja seosten luokitteluun, merkitsemiseen ja pakkaamiseen. Se velvoittaa kyseiset toimijat myös REACH -asetuksen mukaisiin ilmoituksiin EU-alueen yhteiselle Kemikaalivirastolle. (Euroopan komissio – Yritys ja teollisuus, 2011)

EU:n Kemikaalivirasto luo CLP:n ja REACH:n avulla nettiin julkisen tietokannan, jossa on tietoa muun muassa rekisteröityjen aineiden nimistä, luokituksesta, merkinnöistä, myrkyllisyyskokeiden tuloksista, haitallisista pitoisuuksista ja turvallisesta käsittelystä. Erityistä huolta aiheuttavien aineiden (kuten mutageenit, teratogeenit tai biokertyvät yhdisteet) käyttö muuttuu luvanvaraiseksi. Näiden lisäksi esineiden sisältämä aine on

rekisteröitävä, jos sitä on esineissä yli 1000 kg/v tai 0,1 m-%. (Euroopan kemikaalivirasto, 2011)

REACH-asetus on laajuudessaan ainutkertainen. Se siirtää vastuuta kemikaaliturvallisuudesta viranomaisilta teollisuudelle. Yksityiskohtaisessa rekisteröinnissä aineesta pitää kirjata rekisteriin sen CAS-numero, fysikaalis-kemialliset ominaisuudet, altistuksen ja käytön seuraukset, esiintyminen ja levitys, myrkyllisyys nisäkkäille ja luonnolle, toksikokinetiikka, kemiallinen kategoria ja käyttäytyminen luonnossa. Edellä mainittuja tietoja kuvaamaan on kehitetty erilaisia vertailulukuja, kuten esimerkiksi PNEC (engl. Predicted no effect concentration), PEC (engl. Predicted effect concentration), PBT (engl. Persistence, bioaccumulation and toxicity), vPvB (engl. very persistent and very bioaccumulative), NOEC (engl. No effect concentration) ja LC₅₀ (engl. Lethal concentration). (Hartonen, 2009; Euroopan kemikaalivirasto, 2011)

REACH koskee noin 30 000 Euroopassa myytävää, erilaisissa tuotteissa käytettävää kemikaalia. Uuden lain mukaan aineen valmistaja tai maahantuoja joutuu todistamaan sen turvallisuuden. Tähän asti näyttöpakko on ollut viranomaisilla. Osa aineista on jo testattu nykyisin kriteerein, mutta testattavaksi jäi pitkälti yli 20 000 kemikaalia. Vaarallisimpien aineiden pakollinen korvaaminen kasvattaa kemikaalilain aiheuttamia kustannuksia teollisuudelle. Toisaalta yhteistyöllä eri valmistajien kesken kustannuksia voidaan jakaa. (REACH ja CLP -neuvontapalvelu, 2011)

REACH-asetuksen johdonmukaista toteutumista koordinoi Euroopan unionin Kemikaalivirasto ECHA Helsingissä. ECHA neuvoo toimielimiä ja hoitaa käytännössä kemikaalien rekisteröinnit ja niihin liittyvät arvioinnit, raportoinnit, luvat ja kiellot. Muut asetukset ja direktiivit pyrkivät yhdenmukaisuuteen REACH:n kanssa. CLP korvaa vanhan ainedirektiivin vuonna 2010 ja seosdirektiivin vuonna 2015. CLP-asetukseen liittyen käyttöön tulevat uudet varoitusmerkit ja huomiosanat. Seos ja aine erotetaan toisistaan, kun aikaisemmin molemmista käytettiin termiä valmiste. (Euroopan

kemikaalivirasto, 2011; REACH ja CLP -neuvontapalvelu, 2011)

EU:lla on myös lukuisia muita kemian alaan vaikuttavia asetuksia ja direktiivejä, joista muodostuu seikkaperäinen tekninen kemikaaliturvallisuuden sääntelykenttä. Näitä ovat esimerkiksi päästökatto-, integroitu saaste ja kontrolli-, jätteenpoltto-, paristo- ja akku-, GLP (good laboratory practice)-, eläinkoe- ja ilmanlaadunpuitedirektiivi. Asetus on jäsenmaita velvoittava ja direktiivi ohjeistava. Kansallisilla viranomaisilla on vastuu direktiivin toimeenpanosta, arvioinnista ja mittauksista. (Euroopan komissio – Yritys ja teollisuus, 2011) REACH ja uusiutuvien energian lähteiden edistämistä käsittelevä RES-direktiivi tavoittelevat lainsäädännön muutosta tuotantolähtöisestä tuoteketjulainsäädännön suuntaan. Kansainvälisesti hyväksytyjen ympäristöjohtamisen standardien rooli tulee korostumaan. (Nikander, 2010) Nykyisten ympäristöstandardien, elinkaariarvioinnin ja ympäristöselosteiden lisäksi tekeillä ovat mm. tuotteiden ja palveluiden hiili- ja vesijalanjälkistandardit (Nikander, 2010; Suomen standardisoinnin keskusjärjestö, 2011)

EMAS on lyhenne ympäristöjohtamisjärjestelmälle ja ympäristöauditoinnille, joka on EU:n vapaaehtoinen ohjeistus yritysten ympäristöjohtamisjärjestelmistä ja -auditoinneista. EMAS on laadittu helpottamaan yritysten toimintaa ympäristökysymyksissä. Sen mukaan yritysten tulisi laatia ympäristöpolitiikka, ympäristöohjelma ja ympäristöjohtamisjärjestelmä. Ympäristöohjelmien tulokset tulisi julkistaa ympäristöraportein. Työmenetelmien osalta EMAS muistuttaa ISO 9000 -laatuja järjestelmää ja ISO 14001-ympäristöjohtamisjärjestelmää. Nämä järjestelmät ovat vapaaehtoiseen itsesäätelyyn perustuvia, kansainvälisiä, laajasti käytössä olevia yritysten ja julkishallinnon käyttämiä vastuullisen toiminnan toteutus- ja dokumentointistandardeja. (Euroopan komission ympäristöhallintajärjestelmä EMAS, 2011)

iii. Globaalitaso

YK:n kemikaalien luokitus- ja merkintäjärjestelmä GHS (engl. globally harmonized system) yhdenmukaistaa maailmanlaajuisesti kemikaalien luokituksen, merkitsemisen ja käyttöturvallisuustiedotteet. (Euroopan kemikaalivirasto, 2011)

Muita kansainvälisiä kemikaaliturvallisuutta edistäviä sopimuksia ovat esim. Tukholman sopimus (POPs), Rotterdamin sopimus (PIC), työsuojelusopimus (ILO), Kemikaalien hallinnoinnin strategiasopimus (SAICM) ja YK:n kaukokulkeutuvia ilmansaasteita koskeva sopimus (CLRTAP). Näitä sopimuksia on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Kansainvälistä kemian alan sääntelyä

Sopimuksen tai järjestön nimi	Keskeiset tavoitteet
POPs (Persistent Organic Pollutants)	Tukholman sopimus (2001) rajoittaa ja eliminoi pysyvien, ravintoketjuun akkumuloituvien orgaanisten yhdisteiden valmistusta ja käyttöä (kuten DDT ja tietyt organohalogenit).
PIC (Prior Informed Consent, ilmoitettu ennakko-suostumus)	Rotterdamin sopimuksen (1998) PIC-menettely on vaarallisten tai ankarasti säädeltyjen kemikaalien vienti- ja tuontisopimus.
SAICM (Strategic approach on chemicals management)	Sopimus (2006) tähtää kemikaalien aiheuttamien ympäristön tai ihmisten terveyden muutosvaikutusten minimointiin.
ILO (International Labour Organization)	YK:n alainen Kansainvälinen työsuojelujärjestö (1919) yhdistää hallituksia, työnantajia ja työntekijöitä. Ovat luoneet työsuojelua koskevan kansainvälisen standardiston.
IMO (International Maritime Organization)	YK:n alainen Kansainvälinen merenkulkujärjestö (1948) hallinnoi hallitusten ja merenkulkualan yhteistyötä merenkulun turvallisuuden kehittämiseksi ja liikenteen aiheuttaman merien saastumisen ehkäisemiseksi.

YK:n ympäristöohjelman (UNEP) puitteissa neuvoteltiin Euroopan yhteisön ja sen jäsenvaltioiden välille Tukholman yleissopimus vuonna 2001. Sopimuksen määräykset tulivat voimaan EU:n lainsäädännössä 2004. Yleisenä tavoitteena on suojella ihmisten terveyttä ja ympäristöä ravintoketjuun kertyviltä orgaanisilta yhdisteiltä. Yleissopimuksessa tuodaan esiin erityisesti ennalta varautuminen, joka sisältyi ympäristöä ja kehitystä koskevan Rion julistukseen 1992. Yhdeksän tarkoituksellisesti tuotetun kemikaalin (aldriini, klordaani, dieldriini, endriini, heksaklooribentseeni, heptakloori, mirex, toksafeeni ja PCB) tuotanto ja käyttö on kiellettyä. Kiellosta on kuitenkin yleisiä ja yksittäisiä vapautuksia. Yleissopimus rajoittaa myös huomattavasti DDT:n tuotantoa ja käyttöä. DDT on torjunta-aine, jota monissa kehitysmaissa käytetään edelleen malarian ja muiden taudinkantajien torjuntaan. Lisäksi sopimuksessa luetellaan kolme ainetta (PCDD/PCDF, HCB ja PCB), joita voi muodostua ja vapautua tahattomasti. Tukholman sopimuksen myötä EU:n uusi asetus tiukentaa 2011 bromattujen palonsuoja-aineiden ja perfluorattujen oktyylisulfonaattien eli PFOS -yhdisteiden suurimpia sallittuja pitoisuuksia aineissa, valmisteissa ja tavaroissa. Puolivalmisteissa ja tekstiileissä pitoisuusrajat pysyvät ennallaan. Muoveihin näitä yhdisteitä päätyy esim. elektroniikasta, huonekaluista ja autojen osista. (Valtiosopimukset, 2004)

2.4 Opetuksen haasteet

Tuotteiden elinkaaret ja jalanjäljet ovat opetuksen, tutkimuksen ja yritysten yhteinen haaste (Nikander, 2010). Kemian opettajat luonnehtivat nykyistä kemian ympäristöopetuksen käsittelyä yleiselle tasolle jääväksi ja oppilaan arjesta kaukaiseksi (Aksela & Karjalainen, 2008). He kokevat ympäristöaiheisen kemian opetuksen tärkeäksi ja ovat innostuneita sen kehittämistä (Feierabend, 2011). Opettajien mielestä oppilaat motivoituvat kemian opiskeluun sen käsitellessä ympäristöön liittyviä aiheita (Aksela & Karjalainen, 2008).

Kemian opettajat kuvailevat ympäristöaiheisen kemian kurssin suunnittelua ja toteuttamista aikaa vieväksi ja hankalaksi. He ovat halukkaita tekemään yhteistyötä erilaisten yritysten ja organisaatioiden kanssa, mutta koulujen sijainti voi rajoittaa mahdollisuuksia. Siksi aiheen tiimoilta on toivottu koulutusta ja opetuspaketteja. Yli kolmasosa opettajista ei ollut saanut omasta mielestään minkäänlaista koulutusta vihreästä kemiasta. (Lumivaara & Aksela, 2002) Useiden oppiaineiden opettajat ovat kuvailleet ympäristöopetusmateriaalien ongelmiksi oppilaiden aktivoimisen, aiheen konkretisoinnin ja ajankohtaisuuden puutteita sekä tekstin vaikeutta (Eloranta, 1995).

Oppilaat luottavat televisiosta saamaansa ympäristöasioita koskevaan informaatioon jossain määrin enemmän kuin opettajiensa kautta saamaansa tietoon. (Asunta, 2003) Oppilaiden merkittävimmät ympäristötiedon lähteet ovat joukkoviestimet ja toisena tulevat luonnontieteiden opettajat. Tytöille luonnontieteiden opettajien rooli tietolähteenä on jopa suurempi kuin pojilla. Kolmanneksi eniten oppilaat saavat tietoa vanhemmiltaan. Informaatiolähteiden määrä lisääntyy iän myötä. Koska massamediasta on fokuisoitunut kemian saralla huonoihin uutisiin, ympäristöongelmiin ja katastrofeihin, jää luonnontieteilijöille tilaa esittää luonnontieteellisen tutkimuksen positiivisia puolia ja popularisoida niitä. (Asunta, 2003; Stockmayer & Gilbert, 2002) Kemian opettajille lankeaa vastuuta, sillä massamedia ei kouluopetuksen lailla harjaannuta oppilaita esittämään faktoja, analysoimaan tilanteita ja ongelmia, tunnistamaan niiden aiheuttajia tai punnitsemaan vaihtoehtoja ja ratkaisuja niihin (Asunta, 2003; Tung et al., 2002).

Ympäristöaiheiden opettaminen muiden kemian teemojen lomassa jakaa opettajien mielipiteitä. Käsitteleminen isompina kokonaisuuksina, projekteina tai ihan omana kurssinaan vaatisi opettajien mielestä nykyistä enemmän aikaa. (Taskinen, 2008; Feierabend, 2011; Eloranta, 1995) Kuitenkaan ympäristöaiheisen kurssin ei ole aina todettu merkittävästi vaikuttavan oppilaiden ympäristöystävälliseen käyttäytymiseen (Tung et al., 2002).

Jotta oppilaiden käyttäytyminen ja asenteet muuttuisivat pysyvästi myönteisemmiksi kemian opiskelua ja ympäristönsuojelua kohtaan, ympäristöaiheita ehdotetaan integroitavan niille ominaisin sovelluksin kaikille kursseille ja oppiaineisiin (Tung et al., 2002). Yksi keino vastata haasteisiin olisi lisätä tutkimuksellista opiskelua (ks. kpl 3), jolloin opetuksen lähtökohtana olisivat oppilaan kysymykset (Rocard et al., 2007). Lisäksi affektiivista, tunneperäisiin kokemuksiin pohjautuvaa oppimista, on vahvistettava (Johnstone & Reid, 1981).

Useimmat tutkijat ovat yksimielisiä, että oppilaan asenteet muovautuvat kolmesta tekijästä: tiedosta, tunteista ja käyttäytymisestä (Asunta, 2003). Näihin vaikuttavat henkilön persoonallisuus, kokemukset, oppiminen ja sosiaalinen ympäristö. Asenteiden muuttuminen on kumulatiivinen, pienin askelin tapahtuva hidas prosessi. Muutokset ovat pysyvämpiä, jos toiminnan ja asenteiden muutos on kognitiivista eli tiedostettua. Kasvatuksella on perinteisesti pyritty vaikuttamaan tiedon avulla ihmisten käyttäytymiseen ja asenteisiin. Affektiiviset opetusmenetelmät ovat olleet paitsiossa. (Johnstone & Reid, 1981) Tämän tutkimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi ja jatkotutkimuksia varten seuraavaksi käsitellään lyhyesti nuorten asenteita kemian opiskeluun ja ympäristönsuojeluun liittyen.

iv. Asenteet kemian opiskelua kohtaan

Oppilaiden asenteet kemian opiskelua ja kemianteollisuutta kohtaan ovat Suomessa yleisesti negatiivisia. Poikien asenteet ovat tyttöjä positiivisempia. (Asunta, 2003) Myös koko Euroopan tasolla nuorten ja erityisesti tyttöjen kiinnostus luonnontieteiden opiskeluun on laskenut hälyttävästi. Osittain käytössä olevista opetusmenetelmistä johtuen, oppilaat kokevat kemian vaikeaksi ja arkielämästä etäiseksi oppiaineeksi. Lukuisilla projekteilla ja toimilla on pyritty kääntämään lisäämään nuorten kiinnostusta, mutta siitä huolimatta edistys on ollut vaatimatonta. Luonnontieteiden opetus ei

houkuttelee ihmismassoja. Kansainvälisesti tilanne on huononemaan päin ja esimerkiksi Euroopassa luonnontieteitä opiskelemaan pyritään yhä vähemmän. Suomessa on pohjoismaista vähiten naisopiskelijoita korkeakouluissa luonnontieteiden alalla. Kuitenkin 80 % Eurooppalaisista pitää tulevaisuuden kannalta erittäin tärkeänä, että nuoret olisivat kiinnostuneita luonnontieteistä. (Rocard et al., 2007; Holbrook, 2010); Hjerresen et al., 2000)

Positiivisen asenteen on tutkittu korreloivan kemiassa menestymisen kanssa. Opetussuunnitelmien sisällöistä ja oppilaan ja opettajan roolista oppimisprosessissa käydään jatkuvaa konstruktivistista keskustelua. Opetusjärjestelyillä voidaan vaikuttaa oppilaiden asenteisiin. Useissa tutkimuksissa oppilaiden positiivista asennetta kemian opiskelua kohtaan pidetään vähintään yhtä tärkeänä arviointiperusteena kuin kemian tietotaitoja. (Asunta, 2003) Ympäristöön liittyvät kemian aiheet motivoivat opettajien mielestä oppilaita opiskelussa, sillä ympäristöaiheet liittyvät usein suoraan arkipäiväiseen elämään. (Taskinen, 2008)

v. Asenteet ympäristön suojelua kohtaan

Ympäristöaiheet ovat paljon esillä kouluissa ja julkisuudessa, mikä herättää oppilaissa kiinnostusta, mutta myös huolta. Oppilaiden suhtautuminen on vaihtelevaa, toiset ovat ympäristöstä huolissaan kun toiset taas eivät. (Taskinen, 2008) Suomalaisten tyttöjen asenteet ovat ympäristömyönteisempiä ja he uskovat poikia enemmän omiin vaikutusmahdollisuuksiinsa vaikuttaa ympäristön hyvinvointiin. Tytöt myös käyttäytymisellään pyrkivät huomioimaan ympäristöä poikia enemmän. Kuitenkin viime vuosina sekä tytöt että pojat ovat osittain menettäneet kiinnostustaan taistella puhtaamman ja turvallisemman ympäristön puolesta. Oppilaiden ympäristöasenteissa ja -käyttäytymisessä on havaittu muutosta negatiivisempaan suuntaan. (Asunta, 2003) Samassa linjassa on Elinkeinoelämän valtuuskunnan kansallinen arvo- ja asennetutkimus, jonka

mukaan suomalaisten arvo-orientaatioissa ympäristönäkökohtien painoarvo on yleisesti nyt aiempaa alempi. (Haavisto & Kiljunen, 2011)

Kaupunkilaisuus, naiseus ja korkea koulutustaso korreloivat positiivisten ympäristönsuojeluun liittyvien asenteiden kanssa, kun taas maalaisuus ja vähempi koulutus negatiivisempien suojeluasenteiden kanssa. (Haavisto & Kiljunen, 2011; Tanskanen, 1997) Suomalaiset miehet arvostavat taloudellisen hyvinvoinnin ympäristönäkökohtia tärkeämmäksi kuin naiset. Korkea koulutustaso korreloi merkittävästi myös tiedostamisen, ympäristötiedon ja siihen liittyvän käyttäytymisen suhteen. Ikä ei korreloi näiden tekijöiden tai median käyttämisen kanssa. Maailmalla miehet ovat useimmin naisia korkeammin koulutettuja, mikä globaalisti selittää heidän korkeampaa tietotasoaan. (Asunta, 2003) Hyvä itsetunto, optimistisuus ja yhteisöön kuulumisen tunne lisäävät aktiivista ympäristöstä välittämistä. Myös tunteet siitä, että yksilö pystyy vaikuttamaan ja kontrolloimaan tapahtumia ympärillään lisäävät positiivista ympäristökäyttämistä. (Helve, 1997)

Ympäristömyönteisten asenteiden ja toiminnan suhde on ristiriitainen. Ihmisten käyttäytyminen vaihtelee ja on usein hyvin tilannesidonnaista (Louhimaa, 2002). Tiedostamisen ja erityisesti luonnonsuojeluun tähtäävän käyttäytymisen välillä havaitaan osassa tutkimuksista korrelaatiota ja toisissa ei (Asunta, 2003; Tung et al., 2002; Tanskanen, 1997). Suomalaiset naiset arvioivat ympäristön tilan pessimistisemmin kuin miehet (Helve, 1997).

Kemian opettajien mukaan ympäristöasiat kiinnostavat nuoria ja siksi aiheet herättävät luokassa usein keskustelua. Opettajat kokevat vaikuttavansa oppilaiden ympäristöasenteisiin kertomalla ympäristöasioista, toimimalla esimerkkinä ja mielipiteidensä kautta. (Taskinen, 2008) Erityistä huomiota asennevaikuttamisessa tulisi kiinnittää lapsiin, sillä heidän toimintatapansa ovat vähemmän pinttyneitä ja he ovat vanhempia huolestuneempia ympäristön tilasta. Lapset oppivat aikuisia vahvemmin toimimaan myös roolimallien johdattamina, kun he määrittävät omaa ja uusien tietojen paikkaa sosiaalisessa ympäristössään. Lisäksi lapset voivat edistää ympäristövastuullista

käyttäytymistä muissa ihmisissä ja heillä on iäkkäämpiä ihmisiä enemmän mahdollisuuksia vaikuttaa pidemmällä aikavälillä muutoksen suuntaan. On ehdotettu, että eettistä ja ekologista ajattelua on hedelmällisintä ja soveltuvinta tukea noin 15–17 vuotiaiden nuorten kasvatuksessa. (Asunta, 2003)

Asenteet vaikuttavat suurestikin yksilön valintoihin ja käyttäytymiseen (Tanskanen, 1997). Vaikka ristiriitaisiakin tutkimustuloksia on vrt. Tung et al., (2002), niin useissa tutkimuksissa on kuitenkin rohkaisevasti todettu, että oppilaiden osallistuessa konkreettiseen ympäristötyöhön ja -projekteihin heidän asenteensa ympäristöä kohtaan ovat kehittyneet positiivisemmiksi. Samalla heidän ympäristötietoutensa on lisääntynyt. Mitä enemmän oppilailla on kokemusta ja tietoa ympäristöasioista, sitä helpommin he asennoituvat positiivisesti ympäristönsuojeluun. Myös lähikulttuurin ympäristötietoisuus tai lähellä yksilöä esiintyvä paikallinen ympäristöongelma sitouttavat yksilöä aktiivisempaan ympäristöystävälliseen käyttäytymiseen. Useampi tietolähde ympäristöasioissa, tarkoittaen esimerkiksi massamediaa, koteja ja ympäristöjärjestöjä, korreloi positiivisempien ympäristöasenteiden ja -käyttäytymisen kanssa. Ainoa negatiivisuutta selkeästi lisännyt tiedon lähde olivat ”muut kuin luonnontieteiden opettajat”. (Asunta, 2003)

Viime aikoina asennekasvatuksen merkitys myös luonnontieteiden opetuksessa on tunnustettu (Dondi, 2011; Böschén et al., 2003). Monissa tutkimuksissa on tarkasteltu asenteiden kehittymistä kouluympäristössä. Lapsuudesta ja kotoa omaksuttuja asenteita ei ole helppo muuttaa. Asenteiden muuttuminen on kumulatiivinen prosessi, joka tapahtuu pienin askelin. Kierrättäminen on esimerkki yleisimmästä asennemuutoksen ensiaskeleesta, jolla aletaan toimia ympäristön hyväksi. (Tung et al., 2002; Tanskanen, 1997) Kierrättäminen on toisaalta myös oppilaille tutuin aihepiiri. Siitä saadaan tietoa alaluokilta lähtien, useammista lähteistä ja monipuolisemmin kuin monista muista ympäristön suojeluun liittyvistä teemoista. (Asunta, 2003) Osa käyttäytymisestä on tietoon ja sääntöihin perustuvaa tiedostettua toimintaa, osa taas taitoihin perustuvaa usein vähemmän tiedostettua toimintaa. Oppilaiden ympäristövastuullinen käyttäytyminen on useimmiten tietoihin

perustuvaa, koska he vasta opettelevat uutta ja koulussa toiminta perustuu usein sääntöihin. (Waterworth & Waterworth, 2000)

Monet ympäristöohjelmat keskittyvät juuri kognitiivisiin opetusmenetelmiin. Ihmisten käyttäytymistä pyritään muuttamaan esimerkiksi tiedottamalla eri käyttäytymistapojen seurauksista. Ehdotettuja keinoja ihmisten käyttäytymisen muuttamiseen ovat myös sosiaalinen painostus tai vaikuttaminen lasten avulla aikuisiin. (Asunta, 2003) Suoraan tunnekokemukseen perustuvien asennevaikuttimien eli affektiivisen oppimisen on tutkittu ennustavan erityisen hyvin asenteisiin sidotun käyttäytymisen muuttumista. (Millar & Millar, 1996; Johnstone & Reid, 1981). Osittain tähän perustunee myös tutkimuksellisen opiskelun mielekkyys.

3. Tutkimuksellinen opiskelu

Uusin tutkimustieto painottaa voimakkaasti ongelma-peräisen, tutkimuksellisen opetuksen lisäämistä kouluopetuksessa. Kansainvälisen, yli sataa tiedeakatemiaa edustavan Inter Academy Panel (IAP) -yhteistyöelimen tiedeopetusohjelman päätavoitteena on tutkimuksellisen opiskelun (eng. inquiry-based science education, IBSE) edistäminen. Ohjelmaa on toteutettu lukuisissa maissa vuodesta 2004 lähtien ja pyrkimyksenä on lisätä lasten ja nuorten kiinnostusta luonnontieteisiin varhaiskasvatuksesta perusopetuksen yläluokkiin. (The Inter Academy Panel, 2010)

Euroopan komission asiantuntijaryhmän raportin mukaan luonnontieteiden kouluopetusta tulee suunnata tutkimuksellisen opiskelun suuntaan. He ehdottavat rahoituksen, tutkimuksen ja kehityksen painopistettä keskitettävän jatkossa pedagogisten metodien uudistamiseen perinteisestä opettajajohtoisesta opetuksesta tutkimuksellisiin lähestymistapoihin. (Rocard et al., 2007) Myös Yhdysvaltojen luonnontieteiden opetusstandardeissa tutkimuksellisen opiskelu on keskeinen tavoite (NCR, 1996).

Tutkimuksellinen opiskelu tukee oppilaiden aktiivista osallistumista, kiinnostusta ja sitä kautta itseluottamuksen ja korkeamman tason ajattelutaitojen kehittymistä. Tutkimuksellisen opiskelun on osoitettu innostavan nuoria luonnontieteiden opiskeluun ja erityisesti tukevan tyttöjen mielenkiintoa opiskella lisää. (Rocard et al., 2007; Aksela, 2005) Oppilaiden asenteet ja kiinnostus riippuvat suuresti opetusmenetelmistä (Epstein, 2007).

3.1 Määritelmä

Tutkimuksellisen opiskelun määritelmä ei ole yksiselitteinen. Tutkimuksellinen opiskelu on opiskelijalähtöinen työtap, jota on käytetty Suomessa luonnontieteiden opetuksessa 1960-luvulta alkaen. (Aksela, 2005) Usein termiä käytetään synonyyminä tutkimuskeskeiselle tai keksivälle oppimiselle, ongelman ratkaisuun perustuvalle opetukselle, induktiivisille metodeille ja käsin tutkimiselle (Välisaari & Lundell, 2008).

Keskeistä on, että työtap kannustaa oppilasta kysymään. Erityisesti avoimissa tutkimuksissa lasten ja nuorten omat kysymykset ovat tutkimuksen teon lähtökohtana. Oppilas on pääosassa ja tutkimukselliseen oppilastyöhön kuuluu tyypillisesti viisi piirrettä (Minner & Levy, 2009; Aksela, 2005; Kipnis & Hofstein, 2006):

- 1) kysymysten asettelu,
- 2) työn suunnittelu,
- 3) datan kerääminen,
- 4) yhteenvedon teko tuloksista ja
- 5) keskustelu johtopäätöksistä.

Käytännön toteutuksessa tutkimuksellisen opiskelun taso määräytyy tehtävän avoimuuden perusteella. Tutkimuksellisen opiskelutavan perustasolla tutkimuskysymykset ja -menetelmät ovat oppilaan tiedossa. Tulokset

havainnoistaan oppilas muodostaa itse. Keskitasolla oppilaalle annetaan kysymykset, mutta hänen pitää itse miettiä sekä tutkimusmenetelmät että muotoilla tulokset. Vaativalla tutkimuksellisuuden tasolla oppilaan pitää muotoilla tutkimuskysymyksetkin itse. (Colburn, 2000; Blanchard, Southerland, Osborne, Sampson, Annetta & Granger, 2010)

3.2 Työtavan käyttö opetuksessa

Tutkimuksellisen opiskelun voidaan nähdä olevan enemmän keskustelua kuin uuden löytämistä (Millar, 2004). Koulussa toteutetut tutkimukset voivat olla suljetumpia tai avoimempia. Ilmiöihin voidaan tutustua vaihtelevan pituisten tutkimusten kautta. Lähestymistapana voi käyttää ongelmalähtöistä opiskelua (PBL) ja se voi sisältää monenlaisia työtapoja, esimerkiksi väittelyä. Opettaja toimii ohjaajana ja tutkimukset sisältävät usein kokeellisen osuuden. (Minner & Levy, 2009; Aksela, 2005; Kipnis & Hofstein, 2006) Jos opettaja antaa oppilaalle tutkimusta varten sekä ongelman, tiedon keruun menetelmät että muotoilee työn tulokset, ei kyseessä ole tutkimuksellinen opiskelu (Blanchard et al., 2010).

On olemassa erilaisia pedagogisia malleja siitä, miten tutkimuksellista opiskelua toteutetaan kouluympäristössä ja miten sen avulla tuetaan merkityksellistä oppimista. Ehdotettuja keinoja ovat esimerkiksi strukturoitu tutkimus, ohjattu tutkimus, avoin tutkimus tai oppimissykli. Käytännössä strukturoitu tutkimus vastaa perustason tutkimuksellista tehtävää, jossa oppilas saa opettajalta tutkimusongelman ja –menetelmät, mutta muotoilee itse tulokset. Ohjattu tutkimus vastaa tutkimuksellisuuden määrältään keskitasoa. Siinä oppilas saa opettajalta enää tutkimusongelman, johon hän itse kehittää ratkaisun. Vaativalla tutkimuksellisuuden tasolla tehtävä on avoin ja oppilas muotoilee itse myös tutkimuskysymykset. (Colburn, 2000; Blanchard et al., 2010; Aksela, 2005) Näistä työtavoista on esitetty yhteenveto taulukossa 3.

Taulukko 3. Tutkimuksellisen työtavan toteutusmalleja. (Colburn, 2000)

Strukturoitu tutkimus	Opettaja antaa oppilaille kysymykset ja käytännön ongelman ratkaistavaksi. Opettaja tarjoaa työtavat, materiaalit ja havaintojen keruutavat, mutta ei paljasta odotettuja tuloksia. Oppilaat toteuttavat tutkimuksen "keittokirjamaisesti" kohta kohdalta ja yrittävät tunnistaa muuttujien välisiä riippuvuuksia tai yleistää keräämäänsä dataa.
Ohjattu tutkimus	Opettaja antaa oppilaille materiaalit ja tutkittavan ongelman. Oppilaat muodostavat itse tavan ratkaista ongelma.
Avoin tutkimus	Opettaja antaa oppilaille vain materiaalit. Oppilaat muodostavat itse tutkimusongelman ja tavan ratkaista se. Muistuttaa monella tapaa tieteellisen tutkimuksen tekoa.
Oppimissykli	Oppilaat suorittavat jonkin yllä mainituista tutkimustavoista, niin että uuden käsitteen nimeä ei paljasteta etukäteen. Vasta tutkimuksen jälkeen opettaja muodollisesti nimeää käsitteen. Oppilaat tutustuvat uuteen käsitteeseen vielä soveltamalla sitä erilaiseen kontekstiin.

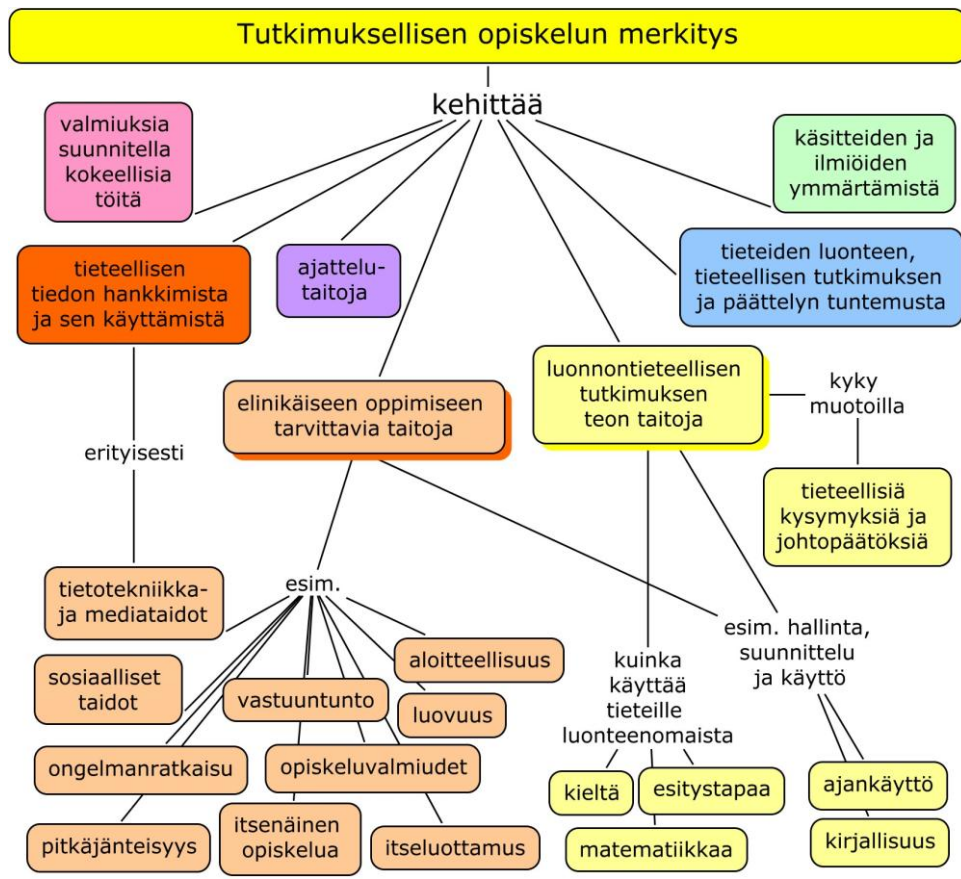
Jotta keskitasoiset oppilaat hyötyisivät uudesta työtavasta, oppilaat tutkimusten mukaan tarvitsevat käsiteltävään teoriaan orientoivia aktiviteetteja. Konkreettiset, havainnoitavat objektit ja materiaalit auttavat hahmottamaan käsitteitä. (Colburn, 2000) Tärkeää olisi, että oppilaat kirjoittaisivat tutkimuksistaan edes pienen työselostuksen tai raportin. Koonti voi sisältää esimerkiksi seuraavia osioita: Johdanto, tarvittavat välineet, menetelmät, työn tulokset, tulosten tarkastelu ja johtopäätökset. (Näsäkkälä, Flinkman & Aksela, 2001)

Paitsi oppilaiden tutkimuksen ohjaamisen myös arvioinnin muodot määräytyvät oppilaalle asetettujen tavoitteiden kautta. Tehtävän tavoitteet määrittelee opettaja. (Näsäkkälä et al., 2001; Blanchard et al., 2010) Opettaja ohjaa tutkimukselliset aktiviteetit kohti kysymyksiä, joihin oppilaat voivat tutkimuksellaan löytää vastauksia. ja valitsee aktiviteetit vastaamaan oppilaiden tietojen ja taitojen tasoa. Teorian omaksumista helpottaa, jos tutkimuksellinen työtapa, käytetyt materiaalit ja tutkimuksen kohde ovat oppilaalle ennalta tuttuja. Aktiviteetit eivät silti saa olla liian helppoja, muuten

oppilaan korkeamman tason ajattelutaidot eivät kehity. Käytännön heterogeenisessä ryhmässä tämä usein tarkoittaa, etteivät kaikki tee aktiviteetin samaa versiota samaan aikaan. (Colburn, 2000) Tutkiva lähestymistapa kemian opetukseen -verkkokirjassa on useita artikkeleita tutkimuksellisen opiskelutavan hyödyntämisestä kemian opetuksessa (Välisaari & Lundell, 2008).

Tutkimuksellisessa opiskelussa oppilas oppii kemian työtapoja ja teoriaa. Työtavan kautta oppilas voi samaistua oikeaan tutkijan työhön laboratoriossa, kentällä, kirjastossa ja keskustelutuokioissa. Yhdistettynä sopiviin pedagogisiin strategioihin tutkimukselliset opiskelumenetelmät voivat tehdä oppimisesta merkityksellisempää ja kehittää oppilaiden korkeamman tason ajattelutaitoja. Työtavan tavoitteena on, että oppilas soveltaa, analysoi, arvioi ja rakentaa uutta tietoa kykyjensä mukaan. Tarkoituksenmukaisten työohjeiden, pienryhmätyöskentelyn ja käsitekarttatekniikkojen käytön on havaittu olevan korkeamman tason ajattelutaitoja tukevia opetusmenetelmiä. (Aksela, 2005; Kipnis & Hofstein, 2006)

Parhaimmillaan oppilas oppii muun muassa liittämään kemian käsitteitä käytännön ilmiöihin, linkittämään uutta oppimaansa vanhaan, tutkimuksellista opiskelua työtapana, ymmärtämään tieteellisen tutkimuksen tekoa ja hahmottamaan luonnontieteiden luonnetta kokeellisina, kehittyvinä tieteenaloina. (Minner & Levy, 2009; Kipnis ja Hofstein, 2006) Paitsi herättää positiivisia asenteita ja kiinnostusta luonnontieteitä ja niiden opiskelua kohtaan, tutkimuksellisen opiskelun avulla voidaan saavuttaa esimerkiksi kuvan 5. esittämiä tavoitteita (Välisaari & Lundell, 2008; Adams, Garon, Ward, Vanek, Marra, Jones, Henthorn & Striebel, 2008; Aksela, 2005; Kipnis & Hofstein, 2006; Minner & Levy, 2009; Näsäkkälä et al., 2001).



Kuva 5. Yhteenvetoa tutkimuksellisen opiskelun merkityksestä ja tavoitteista. (Välisaari & Lundell, 2008; Adams et al., 2008; Aksela, 2005; Kipnis & Hofstein, 2006; Minner & Levy, 2009; Näsäkkälä et al., 2001).

Tutkimuksellisen opiskelun on työtapana todettu motivoivan oppilaiden lisäksi myös opettajia. Se tarjoaa opettajille mahdollisuuksia uudistaa opetustaan ja parantaa opetuksensa laatua. Tutkimuksellinen opiskelu tuo lisämahdollisuuksia kouluille toimia eri tahojen kanssa yhteistyössä ja luo uusia mahdollisuuksia ajankohtaisten aiheiden ja ilmiöiden mielekkääseen opiskeluun. (Rocard et al., 2007)

Euroopan sisällä on kokeiltu onnistuneesti käytännössä kahta opetuksen kehittämishanketta nimeltään ”Pollen” ja ”Sinus-transfer”. Molempien tarkoituksena on edistää tutkimuksellista luonnontieteiden opetusta ja innovatiivisia pedagogisia käytänteitä kouluttamalla, tukemalla ja motivoimalla opettajia monin keinoin. Hankkeet tarjoavat opettajille opetusmateriaalia ja mahdollisuuden verkostoitua keskenään ja eri

sidosryhmien kanssa. Pollen hanke on käynnissä 12 Euroopan maan 12 kaupungin alakouluissa. Sinus-tranfer sen sijaan vaikuttaa laajasti Saksan eri yläkouluissa. Molemmat hankkeet ovat lisänneet oppilaiden kiinnostusta luonnontieteisiin. Tutkimuksellisten työtapojen on havaittu vaikuttavan erityisen positiivisesti tyttöihin ja sellaisiin oppilaisiin, joilla on epäkiitollisesta taustasta johtuen heikompi opiskelumenestys tai itsetunto. Molempia hankkeita on tarkoitus laajentaa jatkossa kansainvälisemmiksi ja lisätä yhteistyötä eri toimijoiden välillä entisestään. (Rocard et al., 2007)

Valtakunnallisissa perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelmissa edellytetään, että oppitunneilla käytetään monipuolisia työtapoja, joiden avulla tuetaan ja ohjataan oppilaan oppimista. Työtapojen tehtävänä on kehittää oppimisen, ajattelun ja ongelmanratkaisun taitoja, työskentelytaitoja ja sosiaalisia taitoja sekä aktiivista osallistumista. Yhtenä kemian oppimistavoitteena on, että oppilas oppii tekemään luonnontieteellisiä tutkimuksia. Molempien opetussuunnitelmien kemian yleisissä tavoitteissa edellytetään, että oppilas saa kokemuksia, jotka innostavat kemian opiskeluun ja herättävät kiinnostusta kemiaa kohtaan. (Opetushallitus, 2004; Opetushallitus, 2003) Tutkimuksellinen opiskelu tutkitusti tukee juuri tällaisia tavoitteita (Välisaari & Lundell, 2008; Rocard et al., 2007).

3.3 Tutkimuksellisen opetuksen haasteet

Tutkimuksellisen opiskelun työtavan käyttö on vielä luonnontieteiden opetuksessa perinteisempien, deduktiivisten opetusmenetelmien varjossa (Rocard et al., 2007). Opetustapaa ei käytetä esimerkiksi siksi, että tutkimuksellisen opiskelun määritelmä hämmentää opettajia. He tuntevat olevansa puutteellisesti valmistautuneita ohjaamaan ja ohjeistamaan työtapaa ja kokevat sen vaikeasti hallittavaksi. Lisäksi opettajat pyrkivät kuuliaisina ja uskollisina opettamaan etenkin faktatietoa valmistellessaan oppilaita seuraavan tietotason kursseille. (Colburn, 2000) Opetussuunnitelmien laajat tietosisällöt aiheuttavat sitä enemmän paineita ajankäytön suhteen mitä

ylemmälle luokka-asteelle siirrytään (Rocard et al., 2007). Ajanpuute, resurssien puute, sekä liian suuri ryhmä koko vaikuttavat tutkimuksellisten ja kokeellisten töiden välttämiseen (Aksela & Karjalainen, 2008). Lisäksi on uskomuksia, että kyseiset opetusmenetelmät sopivat vain lahjakkaille oppilaille (Colburn, 2000).

Opettajat tarvitsevat tästä verrattain uudesta työtavasta sekä sisältötietoa että pedagogista ohjausta. Työtapojen muuttumiseen vaikuttavat eniten opettajien tieto ja uskomukset. Tutkimuksellisen opiskelun työtavan omaksumista ovat tutkitusti nopeuttaneet opettajille aiheesta tarjotut täydennyskoulutusohjelmat ja laadukkaat opetusmateriaalit. Näiden avulla opettajat ovat saaneet henkilökohtaisen kosketuksen tutkimukselliseen opetustapaan ja tietoa miten toteuttaa sitä käytännössä. (Herrington et al., 2010)

Tutkimuksellisessa opiskelussa vaadittavat ja kehittyvät taidot eivät ole itsestään selvyyskysymyksiä, vaan usein harjoittelemisen tulosta. Niitä voidaan harjoitella vaikka yksi kerrallaan. (Näsäkkälä et al., 2001) Tutkimukselliseen opiskeluun liittyvät opiskelumenetelmät eivät poissulje perinteistä deduktiivista opetusta, vaan näitä kahta opetustapaa on kyettävä jatkossa yhdistämään oppimisympäristöissä. Tämä vaatii yhteistyötä eri tahojen esimerkiksi yritysten, tutkijoiden, yliopistojen ja paikallisten toimijoiden välillä. (Rocard et al., 2007)

Työtapojen muutosta perinteisistä opettajajohtoisista tutkimuksellisiin, oppilaskeskeisempiin ja avoimempiin suositellaan pienin askelin. Kun siirtyminen uusiin opetusmenetelmiin tapahtuu hitaasti ja asteittain, sopeutuvat sekä opettaja että oppilas muutoksiin parhaiten. (Colburn, 2000; Rocard et al., 2007) Tutkimuksellisissa työtavoissa oppilaat tarvitsevat opettajan tukea esimerkiksi työn ohjeistuksessa, reflektoinnissa, kriittisessä ajattelussa, tiedon lähteenä, tutkimusten ja johtopäätösten konstruoinnissa. Mikäli sekä teoria että työtapat ovat uusia, saattaa opiskelusta tulla hankalaa. Tavoitteet on määriteltävä etukäteen myös oppilaille. (Blanchard et al., 2010)

Tutkimuksellisen opiskelun työtavan vaikutuksia oppilaiden osaamiseen tai asenteisiin on tutkittu laajasti, mutta tulokset ovat ristiriitaisia ja heikosti vertailukelpoisia. Pitkä- tai lyhytkestoisten vaikutusten mittaaminen on haastavaa, sillä opetustilanne sisältää lukuisia, hankalasti vakioitavia muuttujia. Tutkimuksista löytyy silti käytänteitä luotettavampien mittaustulosten saamiseksi. (Blanchard et al., 2010; Belland, French & Ertmer, 2009) Luotettavuuskysymyksiä on pohdittu tämän tutkimuksen luvussa 4.4.

4. Kehittämistutkimus

Kehittämistutkimus (engl. Design research; Edelson, 2002) on tutkimusmenetelmä, joka yhdistää syklisesti tutkimisen teoreettiset ja kehittämisen kokeelliset vaiheet. Kehittämistutkimusta voidaan kutsua myös nimellä formatiivinen tutkimus ja suunnittelu- tai toimintatutkimus. Monimutkaisena tutkimusmenetelmänä kehittämistutkimusta on vaikea kuvailla yksinkertaisesti ja eksplisiittisesti. Yhden määritelmän mukaan se ”pyrkii parantamaan opetuskäytänteitä systemaattisen, joustavan ja iteratiivisen tutkimuskirjallisuuteen perehtymisen, analyysin, suunnittelun, kehittämisen ja toteutuksen kautta, tavoitteena kehittää sääntöjä ja teorioita todellisiin tilanteisiin tutkijoiden ja koulumaailman toimijoiden tiiviissä yhteistyössä.” (Wang & Hannafin, 2004) Toisessa se ”pyrkii muuttamaan yksilöä ja kulttuuria, yhdistää diagnoosin, teon ja reflektion ja on motivoitunut ymmärtämään ja parantamaan maailmaa” (Cohen, Manion & Morrison, 2007).

Edelson (2002) jakaa kehittämistutkimuksen toteutuksen piirteet kolmeen vaiheeseen. Aluksi kehittämisprosessissa suunnitellaan ja valmistellaan tutkimusta. Tätä seuraavassa tarveanalyysivaiheessa selvitetään kehittämistutkimuksen haasteet, määritellään tavoitteet ja kartoitetaan tarpeet. Syklisen tutkimuksen loppuvaiheessa hahmotellaan tavoitteiden mukainen kehittämisuotos, joka jalostuu ja tarkentuu jatkuvasti tietojen syventyessä tutkimusprosessin edetessä. (Edelson, 2002) Kehittämistutkimuksen syklit

saattavat koostua myös pienemmistä tapaus- tai toimintatutkimuksista (Adams et al., 2008).

Kehittämistutkimuksen toteutusta on toisaalla yksinkertaistettu kahteen päävaiheeseen: 1) diagnostiseen, ongelmia analysoivaan ja hypoteesia tuottavaan, ja 2) terapeutiseen, hypoteesia *in situ* testaavaan. Tutkimuksen toteutus alkaa sen suunnittelulla, jossa yleinen idea, kohde ja visiot vaativat kirjallisuuskatsausta ja tiedon hankintaa. Seuraavaksi suunnitellaan toimintatavat, kokeillaan suunnitelman toimivuutta ja neuvotellaan työntekijät ja osallistujat. Sitten voidaan kerätä dataa, tarkkailla ja muokata menetelmiä ja luokitella tuloksia. Lopuksi arvioidaan kriittisesti virheitä, ongelmia ja reflektoidaan tutkimuksen toteutusta ja sen vaikutuksia. (Cohen et al., 2007)

Kehittämistutkimus on keino edistää muutosta paikallisella tasolla. Tutkimusmenetelmänä se on yhdistelmä käytäntöä ja teoriaa, joiden avulla pyritään ratkomaan yhteisöjen, tehtävien tai toimintojen ongelmia. Kehittämistutkimuksesta saadaan käytännönläheistä tietoa, jota voidaan käyttää kasvatustieteiden eri osa-alueilla, esimerkiksi opetusmetodien, oppimisstrategioiden, arviointiprosessien, asenteiden ja arvojen, opettajuuden ammattitaidon kehittämisen tai hallinnoinnin tasolla. Kehittämistutkimus on käytännön ongelmanratkaisua, yhteistyötä tekevää ja vahvasti osapuolia osallistavaa. Se on usein tapaustutkimusta ja luonnontieteellistä opetusta arvioivaa, kriittistä, dialogista ja konsensusta etsivää. Tutkija osallistaa itsensä oppijaksi ja on valmiudessa muuttamaan ajatteluaan ja mielipiteitään. (Cohen et al., 2007)

Kasvatustieteissä kehittämistutkimuksia on tehty vasta 90-luvun alkupuolelta lähtien ja menetelmä on verrattain uusi. Kehittämistutkimuksesta saadaan kolmenlaista tietoa: 1) Tietoa itse kehittämistutkimuksen prosessista, esimerkiksi sen vaiheista ja toimijoiden käyttäytymisestä, 2) ongelma-analyysiin liittyvää kontekstisidonnaista tietoa ja teoriaa, joka voi esimerkiksi tarkentaa tutkimuskysymyksiä ja varmistaa tuotoksen kehittämissuunnan vastaavan tarpeita ja 3) tietoa kontekstisidonnaisista kehittämistuloksen

malleista ja tuotoksista. (Edelson, 2002)

4.1 Tavoitteet

Tutkimuksessa haettiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin: (i) Minkälaisia haasteita on ympäristökemian kouluopetuksen kehittämisessä? (ii) Minkälaisia tutkimuksellisen opiskelun opetusmalleja kemian opettajat kehittävät omaan opetukseensa elinkaariajatteluun liittyen?

4.2 Menetelmät

Kehittämistutkimus (Edelson, 2002) toteutettiin kvalitatiivisella tutkimusotteella, empiirisenä tapaustutkimuksena (Cohen et al., 2007). Valittu lähestymistapa sopi tutkimuksen luonteeseen parhaiten, koska tekstimuotoista tutkimusaineistoa kerättiin elinkaariaiheiseen täydennyskoulutukseen sattumanvaraisesti ilmoittautuneelta ja osallistuneelta neljältä eri kouluasteen kemian opettajalta (n=4). Tutkimus sisälsi kaksi päävaihetta: ongelma-analyysin ja empiirisen opetusmallien kehittämisen. Ongelma-analyysin kohderyhmänä olivat perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelmat ja kemian oppikirjat. Empiirisen kehittämisvaiheen kohderyhmänä olivat kemian opettajien kehittämät opetusmallit täydennyskoulutuskurssilla. Kuten edellä on kuvailtu, kehittämistutkimus on iteratiivista. Se sisältää jatkuvaa suunnittelua ja kehitetyn mallin uudelleen arviointia, kun empiiristä dataa verrataan aiempaan teoreettiseen ongelma-analyysiin. Kehittämistutkimuksessa jokainen vaihe vaikuttaa tutkimuksen seuraaviin vaiheisiin. (Kananen, 1993)

Ongelma-analyysissä selvitettiin opetussuunnitelman ja oppikirjojen suhdetta elinkaariaiheiden tutkimukselliseen opetukseen. Tästä saatujen tulosten ja kirjallisuuskatsauksen perusteella järjestettiin opettajien täydennyskoulutus. Toteutetun kehittämistutkimuksen kulkua on havainnollistettu kuvassa 6.

Taulukko 4. Perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelmien perusteisiin kirjattuja vastuullisuuskasvatukseen ja elinkaariajatteluun liittyviä sisältöjä.

	POPS (2004)	LOPS (2003)
Opetuksen yleinen arvopohja ja tehtävät	"...arvopohjana ovat...luonnon monimuotoisuuden ja ympäristön elinkelpoisuuden säilyttäminen. Perusopetus edistää vastuullisuutta... tehtävänä on myös kehittää kykyä arvioida asioita kriittisesti, luoda uutta kulttuuria sekä uudistaa ajattelu- ja toimintatapoja. Työtapojen tehtävänä on kehittää oppimisen, ajattelun ja ongelmanratkaisun taitoja, työskentelytaitoja ja sosiaalisia taitoja sekä aktiivista osallistumista.	"...valmiuksia vastata yhteiskunnan ja ympäristön haasteisiin sekä taitoa tarkastella asioita eri näkökulmista. Opiskelijaa tulee ohjata toimimaan vastuuntuntoisena ja velvollisuuksistaan huolehtivana kansalaisena yhteiskunnassa ja tulevaisuuden työelämässä. Lukion tulee korostaa kestävän kehityksen periaatteita ja antaa valmiuksia kohdata muuttuvan maailman haasteet. "
Kemian opetuksen tehtävät	"...ohjata luonnontieteille ominaiseen ajatteluun, tiedonhankintaan ja tietojen käyttämiseen elämän eri tilanteissa. Opetus antaa oppilaalle...nykyaikaisen maailmankuvan muodostamisen kannalta välttämättömiä aineksia ja se auttaa ymmärtämään kemian ja teknologian merkityksen jokapäiväisessä elämässä, elinympäristössä ja yhteiskunnassa. Kemian opetuksen tulee antaa oppilaalle valmiuksia tehdä jokapäiväisiä valintoja ja keskustella erityisesti energian tuotantoon, ympäristöön ja teollisuuteen liittyvistä asioista ja ohjata oppilasta ottamaan vastuuta ympäristöstään."	"Opetus välittää kuvaa kemiasta yhtenä keskeisenä perusluonnontieteenä, joka tutkii ja kehittää materiaaleja, tuotteita, menetelmiä ja prosesseja kestävän kehityksen edistämiseksi. Opetus auttaa ymmärtämään jokapäiväistä elämää, luontoa ja teknologiaa sekä kemian merkitystä ihmisen ja luonnon hyvinvoinnille tutkimalla aineita, niiden rakenteita ja ominaisuuksia..."
Kemian oppimis-tavoitteet	"...käyttämään luonnontieteellisen tiedonhankinnan kannalta tyypillisiä tutkimusmenetelmiä, myös tieto- ja viestintätekniikkaa, sekä arvioimaan tiedon luotettavuutta ja merkitystä. ...aineiden kiertokulkuun ja tuotteiden elinkaareen liittyviä prosesseja sekä niiden merkityksen luonnolle ja ympäristölle. ...tuntemaan kemian ilmiöiden ja sovellusten merkityksen sekä ihmiselle että yhteiskunnalle."	"...tietää kemian yhteyksiä jokapäiväisen elämän ilmiöihin sekä ihmisen ja luonnon hyvinvointiin. ...aktiivisen tiedonhankinnan avulla etsiä ja käsitellä tietoa elämän ja ympäristön kannalta tärkeitä kemiallisista ilmiöistä ja aineiden ominaisuuksista sekä arvioida tiedon luotettavuutta ja merkitystä. Osaa tulkita ja arvioida...hankkimaansa tietoa ja keskustella siitä sekä esittää sitä muille. Osaa käyttää kemiallista tietoa kuluttajana terveyden ja kestävän kehityksen edistämässä sekä osallistuttaessa luontoa, ympäristöä ja teknologiaa koskevaan keskusteluun ja päätöksentekoon."
Kemian osaamisen arvioinnin kriteerit	ARVOSANALLE 8 "...tuntee ympäristöön vaikuttavia aineita. Osaa tulkita tavaraselosteita, selittää tuotteen elinkaaren ja osaa tehdä valintoja kuluttajana. Osaa tutkia aineiden ominaisuuksia ja käyttää tuloksia alkuaineiden ja yhdisteiden luokittelussa, tunnistamisessa ja erottamisessa. "	KURSSI 1 "saa kuvan kemiasta, sen mahdollisuuksista ja merkityksestä, kehittää tietojen esittämisessä ja keskustelussa tarvittavia valmiuksia." KURSSI 4 "tuntee erilaisia materiaaleja, niiden koostumusta, ominaisuuksia ja valmistusmenetelmiä sekä kulutustavaroiden ympäristövaikutusten arviointiin käytettäviä menetelmiä."

ii. Oppikirjojen analyysi

Ongelma-analyysin toisessa vaiheessa tutkittiin oppikirjasarjojen suhdetta tutkimukselliseen, elinkaariaiheiseen kemian opiskeluun. Analyysi rajattiin kaikkiin suomenkielisiin yläkoulun ja lukion kemian oppikirjasarjoihin. Tutkimusaikataulullisista syistä verkko-opetusmateriaali sekä muunkieliset ja -asteiset oppikirjat päätettiin jättää tässä vaiheessa tutkimuksen ulkopuolelle. Analyysimenetelmänä käytettiin aineistolähtöistä sisällönanalyysia, koska sen katsottiin olevan järjestelmällinen tapa jäsentää oppikirjojen sisältöjä. (Tuomi ja Sarajärvi, 2002)

Tutkitut kirjat koostuivat kaikista perusopetuksen ja lukion oppilaan oppi- ja tehtäväkirjoista, sekä opettajanmateriaalista. Kirjoista etsittiin avainsanoja ”elinkaari”, ”elinkaariajattelu”, ”(vesi- tai hiili-) jalanjälki” ja ”ekologinen selkäreppu”. Sanojen esiintyminen luokiteltiin seuraaviin tasoihin: otsikkoteksti, kappaleteksti, kaavio (diagrammi, kuvaaja), kuva ja taulukko. Lisäksi tutkittiin kuinka monta elinkaariaiheita (edellä mainittuja avainsanoja) sisältävää tehtävänantoa kirjasarjasta löytyy ja onko tehtävänanto tutkimukselliseen opiskeluun kannustava. Analysoidut kirjasarjat on koottu Liitteeseen 2.

iii. Opettajien täydennyskoulutus

Teoreettisen viitekehyksen ja ongelma-analyysin perusteella päätettiin aloittaa empiirinen tutkimuksellinen, elinkaariaiheisen kemian kouluopetuksen kehittäminen. Vastauksena luvussa 5.1 esitettyihin tarpeisiin järjestettiin opettajien täydennyskoulutuksen yhteydessä opettajiin kohdistuva pilottitutkimus Helsingin Yliopiston Kemian laitoksella, Kemian opetuksen keskuksessa syksyllä 2010.

Tutkimuksen otos koostui kaikista kurssille ilmoittautuneista, luvan antaneista opettajista (n=4). Opettajista yksi oli yläkoulun opettaja, yksi lukion ja kaksi

ammattillisen asteen opettajia. Täydennyskoulutuksessa tavoitteena oli tutustuttaa opettajat viimeisimpään ympäristöaiheiseen kemian tutkimukseen, perehdyttää erilaisten elinkaarianalyysien sovelluksiin kouluopetuksessa ja teollisuudessa sekä yhteisöllisesti kehittää tutkimuksellisia elinkaariaiheisia opetusmalleja. Opetusmallin kehittämisprosessi on kuvattu luvussa 5.3.

Opetusmallin tavoitteena oli i) toteuttaa taulukkoon 4 koottuja peruskoulun ja/tai lukion opetussuunnitelmien tavoitteita ja kriteereitä ii) tuoda esille kemian roolia ympäristönsuojelussa ja iii) motivoida ja innostaa oppilasta tutkimukselliseen kemian opiskeluun ja vastuulliseen ajatteluun. Tutkimuksellisen työtavan tavoitteena oli kehittää opetussuunnitelmissakin edellytetyjä oppimisen, ajattelun ja ongelmanratkaisun taitoja, työskentelytaitoja ja sosiaalisia taitoja sekä aktiivista osallistumista.

Täydennyskoulutuksessa tutkittiin myös opettajien ennakkotietoja teemoista ja palautetta koulutuksen onnistumisesta. Ennen koulutusta opettajilta kysyttiin seuraavat avoimet kysymykset:

1. Kuvaile käsitettä "tutkimuksellinen opiskelu"?
2. Oletko käyttänyt tutkimuksellista lähestymistapaa opetuksessa ja jos olet niin miten?
3. Mitä tekijöitä liittyy mielestäsi tuotteiden ja materiaalien elinkaariajatteluun?
4. Millä tavoin olette käsitelleet elinkaariasioita oppilaiden kanssa kemian tunneilla? [vrt. Opetushallitus (2004) tavoitteet ja kriteerit arvosanalle 8.]

Kurssin jälkeen toteutetun palautekyselyn lomake on esitetty Liitteessä 3. Avoimet ennakkotietokysymykset 1. ja 3. kysyttiin palautteessa uudestaan, jotta voitiin tarkastella käsitteiden ymmärtämisen muutoksia. Vastausten analysoitiin käytettiin aineistolähtöistä sisällönanalyysia (Tuomi & Sarajärvi, 2009). Lomakkeessa opettajia pyydettiin myös arvioimaan kurssia erilaisin väittämien asteikolla 1 – 5. Esimerkiksi väittämään ”Kouluttajat hallitsivat koulutuskokonaisuuden.” saattoi vastata: 1 – ei ollenkaan, 2 – jonkin verran,

3 - kesinkertaisesti, 4 – hyvin, 5 – erittäin hyvin. Käsitteiden ”tutkimuksellinen opiskelu” ja ”elinkaari” ymmärtämisen tulkittiin vastausten perusteella joko syventyneen tai ei-syventyneen.

4.3 Aineiston analyysi

Valtakunnallisista opetussuunnitelmista, kaikista peruskoulun ja lukion kemian oppikirjoista, opettajien opetusmallituotoksista ja avoimista kyselylomakkeista koostunut tutkimusaineisto analysoitiin aineistolähtöisenä sisällönanalyysinä (Tuomi & Sarajärvi, 2009). Kyseinen menetelmä sopii tutkimuksessa kerätyn monipuolisen tutkimusaineiston järjestämiseen ja tiivistämiseen. Analyysissa huomioitiin vain tekstien ilmisältö (engl. manifest content) eikä piilossa olevia viestejä (engl. latent content).

Oppikirjojen analyysissä vain elinkaariaiheisten tehtävien lukumäärä kvantifioitiin. Muiden avainsanojen kohdalla päädyttiin luokittelemaan esiintyminen (kyllä tai ei), sillä lukumäärällisesti esiintyminen oli niin pientä, ettei kvantifiointi tuottanut lisätietoa tai uutta näkökulmaa. Samasta syystä myöskään opettajien (n=4) tuottamasta aineistosta johdettua informaatiota ei kvantifioitu.

4.4 Tutkimuksen luotettavuus

Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli tuottaa mahdollisimman luotettavaa ja suuntaa antavaa uutta tietoa elinkaariaiheisten, tutkimuksellisten opetusmallien kehittämistä ja ympäristöaiheisen kemian opetuksen haasteista. Suuri huomio kiinnittyi menetelmiin. Tutkimuksen toteutustavat on pyritty kuvaamaan selkeästi luvuissa 4.2 ja 4.3: Mitä kysyttiin ja mitattiin, miten tutkimus suunniteltiin, hallinnoitiin ja käytännössä järjestettiin. (Belland et al., 2009) Opettajien tuottamien opetusmallien sisällönanalyysi ja kehittämisprosessi on kuvattu luvuissa 5.2 ja 5.3.

Kehittämistutkimusta on arvosteltu tyypillisesti pienestä otoskoosta ja kvalitatiivisuudesta. Se ei siten kuvaisi perusjoukkoa niin täsmällisesti kuin perinteisesti kvantitatiivisten tutkimusmenetelmien näkökulmasta korkeatasoiselta tieteelliseltä tutkimukselta on odotettu. Kehittämistutkimuksen puolustajat kuitenkin argumentoivat tutkimusmenetelmän tuotosten yleistettävyydellä ja selitysvoimalla, vaikka luotettavuutta ei pystytäkään tilastollisesti todistamaan. (Edelson, 2002)

Kehittämistutkimuksessa yhtenä haasteena on tutkimustavan muotoilu. Datan tulee edustaa kontekstia validisti, muttei olla määrältään mahdottoman raskasta. Haastavaa on määritellä toteutuksen käytänteet uudistustavoitteisiin nähden riittävän spesifisesti ja validisti, muttei kuitenkaan minimalistisesti. Tärkeässä roolissa on se, miten rajallista ja spesifistä dataa esitetään. Kehittämistutkimuksessa tuotettujen uudistusten ja kehittämistulosten läpivieminen vaatii usein muun yhteisön innostamista. Tuloksia ei kannata yrittää väittää yleisesti valideiksi, vaan ainoastaan tietyn tilanteen ongelmaan sopivaksi ratkaisuksi. (Cohen et al., 2007)

Jotta tutkimus olisi luotettava, on se voitava toistaa samoin koejärjestelyin, ajasta riippumatta, samoin tuloksin ja mitaten olennaisia asioita tutkimuksen kohteena olevista henkilöistä. (Hirsjärvi et al., 2008) Sisällönanalyysin haasteena luotettavuuden kannalta voidaan pitää sitä, että tutkimustulos perustuu tutkijan subjektiiviseen näkemykseen. (Tuomi & Sarajärvi, 2009) Luotettavuuteen vaikuttavat tutkijan kyvyt pelkistää aineisto ja kuvata kategorioita mahdollisimman luotettavasti. Luotettavuuden takaamiseksi voidaan käyttää toista luokittelijaa tai esittää tutkittava ilmiö, aineisto ja tulokset muille henkilöille, joita pyydetään arvioimaan tulosten vastaavuutta todellisuuteen.

Kaikesta tarkkuudesta huolimatta ilmaan jää kysymys, kuvastavatko tässä kirjallisuuskatsauksessa viitattujen asenne- ja käyttäytymistutkimusten tulokset laajempaa näkökulmaa aiheista. Erilaisista tutkimuksista ei voida

tehdä luotettavasti päteviä vertailuja, koska käytettyjen menetelmien vertailukelpoisuutta ei tunneta. On tyypillistä, etteivät tutkimusten tekijät juurikaan käsittele käyttämiensä menetelmien luotettavuutta. (Belland et al., 2009; Asunta, 2003) Käytännössä kirjallisuuskatsauksessa sivutuissa tutkimuksissa validitettia ei käsitelty lainkaan, lukuun ottamatta Akselan (2005) väitöskirjaa. Useimmissa tutkimuksissa todettiin, että tutkimusvälineistö oli kehitelty ja valittu tunnettujen eksperttien taholta. Tutkijoiden tulisi käyttää enemmän standardoituja menetelmiä, kuten tilastotieteen ”intra-class” eli ICC-korrelaatiota tai ”generalizability” eli G-teoriaa. (Belland et al., 2009)

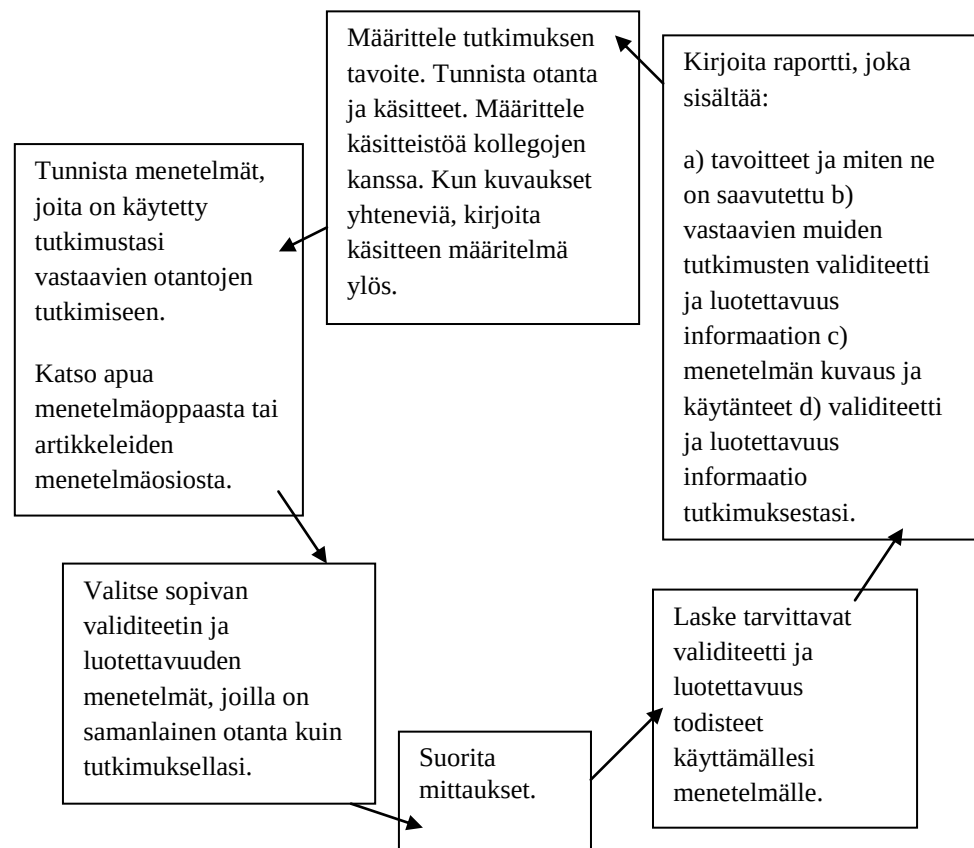
Kyselyn laatimisessa tulee käyttää paitsi tervettä järkeä, myös sopivan suurta otantaa ja toistettavia, rinnakkaisia koejärjestelyjä. Vaikka vastaajat kuinka yrittäisivät vastata rehellisesti, kyselystä saadut vastaukset voivat olla sidottuja kyselyn suorituksen kontekstiin, paikkaan ja aikaan. (Asunta, 2003)

Kvalitatiivisten tutkimusmenetelmien luotettavuutta ja kokonaiskuvaa voidaan laajentaa suorittamalla kyselyn rinnalla kvantitatiivista tutkimusta, joka tukee kvalitatiivisesta aineistosta tehtyä analyysia. (Asunta, 2003; Blanchard et al., 2010) Esimerkiksi asenteita mittaavissa kyselylomakkeissa neljän tai viiden kohdan Likert-skaalaus on tyypillinen mittaustapa. (Tung et al., 2002)

Tässä tutkimuksessa kyselyn edustavuutta lisää vastaajien eri opetusaste. Avointen kysymysten ja kyselylomakkeen tulokset antavat suuntaa todellisuuteen, sillä vastaajajoukko on kvantitatiivisesti ajateltuna suppea (n=4). (Tuomi & Sarajärvi, 2002). Kyselytutkimusten luotettavuuteen saattaa aiheutua ongelmia myös vastaajien rehellisyydestä tai heidän suhtautumisestaan tutkimukseen. Kysymysten yksiselitteisyys ja vastaajien määrä saattaa niin ikään nousta ongelmaksi. (Hirsjärvi et al., 2008)

Sisällönanalyysin luotettavuuden lisäämiseksi tämä tutkimus aiotaan uusii kesällä 2011 ja jatkotutkimuksissa käyttää rinnalla myös kvantitatiivisia tutkimusmetodeja. Jotta tulokset olisivat mahdollisimman täsmällisiä ja

luotettavia, on ongelmalähtöisen opiskelun tutkijoiden ehdotettu seuraavan tutkimuksen suunnittelussa ja mittauksen raportoinnissa yhteistä protokollaa. Tärkeää on jo tavoitteiden kirjaamisvaiheessa määritellä teoreettisen viitekehyksen ja kollegoiden kanssa tutkimuksen käsitteistö. Tavoitteiden saavuttamiseksi on löydettävä oikeat ja validit tutkimusmenetelmät ennen mittausten suorittamista. Tuloksille lasketaan tarvittavat luotettavuuden ja validiuden indikaattorit, joiden perusteella on mahdollista kirjoittaa tutkimusraportti. (Belland et al., 2009) Tätä tutkimuksen suunnittelun etenemistä on havainnollistettu kuvassa 7.



Kuva 7. Tutkimuksen luotettavuutta voi lisätä etenemällä suunnittelussa ja mittauksissa esimerkiksi Belland et al. (2009) ehdottaman raportointiprosessin mukaisesti.

5. Tulokset

Kehittämistutkimuksesta (Edelson, 2002) saatiin kolme päätulosta: i) Kehitetty opetusmalli, ii) tietoa kehittämisprosessista ja iii) uutta tietoa taustateorioihin ja jatkotutkimuksia varten. Ongelma-analyysissa tarkasteltiin Kemian oppikirjoja ja opetussuunnitelmia. Havaittiin, että elinkaariaiheiden tutkimuksellisen opiskelun toteuttamisessa on useita haasteita. Näitä haasteita käsitellään luvussa 5.1. Opettajien täydennyskoulutuksessa kehittämiä opetusmalleja esitellään luvussa 5.2 ja kehittämisprosessia luvussa 5.3.

Ongelma-analyysin ensimmäisessä vaiheessa etsittiin peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmista esiintyviä elinkaari- ja vastuullisuuskasvatuksen sisältöjä. Ne on koottu edelle taulukkoon 4. Sekä lukion että peruskoulun opetussuunnitelmat selvästi painottavat oppilaan ympäristötietoisuuden monipuolista kehittymistä kaikilla kemian opetussuunnitelman tasoilla (opetuksen yleinen arvopohja ja tehtävät, kemian opetuksen tehtävät, oppimistavoitteet ja arvioinnin kriteerit). Opetussuunnitelmat myös tukevat tutkimuksellisen opiskelun käyttöä opetusmenetelmänä (ks. luku 3). Edellytyksenä on, että oppitunneilla käytetään monipuolisia työtapoja, joiden avulla tuetaan ja ohjataan oppilaan oppimista. Työtapojen tulee kehittää oppimisen, ajattelun ja ongelmanratkaisun taitoja, työskentelytaitoja ja sosiaalisia taitoja sekä aktiivista osallistumista. Oppilaiden on myös harjoiteltava luonnontieteellisten tutkimusten tekoa. Lisäksi kemian yleisissä tavoitteissa edellytetään, että oppilas saa kokemuksia, jotka innostavat kemian opiskeluun ja herättävät kiinnostusta kemiaa kohtaan. (Opetushallitus, 2004; Opetushallitus, 2003)

Ongelma-analyysin toisessa vaiheessa kartoitettiin kemian peruskoulun ja lukion oppikirjasarjoissa esiintyviä tutkimuksellisia, elinkaariaiheisia sisältöjä. Havaittiin, että teemojen käsittely on suhteellisen vähäistä. Analyysin tulokset on esitetty taulukossa 5. Kirjasarjojen nimet on esitetty liitteessä 2. Avainsanoja "Elinkaari", "Ekologinen selkäreppu" ja "Jalanjälki" etsittiin sekä

otsikko- että kappaleteksteistä. Taulukossa plus-merkki (+) tarkoittaa sanan esiintymistä eli sitä kautta kyseisen aiheen käsittelyä kirjasarjassa. Selvisi myös, että kun kyseiset sanat esiintyivät kirjassa, ne esiintyivät aina sekä otsikoissa että teksteissä. Samoja avainsanoja 1. - 3. etsittiin myös kaavioista (diagrammi, kuvaaja), kuvista, taulukoista ja tehtävistä. Tutkimukselliseen opiskeluun kannustavia tehtäviä löytyi muutama. Kuitenkaan oppilaan kysymyksistä lähteviä aihepiirin tehtäviä ei tutkituista kirjasarjoista löytynyt.

Taulukko 5. Oppikirja-analyysin tulokset. Plus-merkki (+) tarkoittaa sanan eli sitä kautta kyseisen aiheen käsittelyä otsikko ja tekstitasolla kirjasarjassa A – K. Sanoja 1. – 3. etsittiin myös kaavioista (diagrammi, kuvaaja), kuvista, taulukoista ja tehtävistä. Lisäksi kartoitettiin tutkimukselliseen opiskeluun kannustavia tehtävänantoja. Kirjasarjat A – K on esitetty liitteessä 2.

Kirjasarja	A	B	C	D	E	F	G, Mooli 4	H	Ī	J	K
1. Elinkaari	+	+	+		+	+	+				
2. Ekologinen selkäreppu	+				+						
3. Jalanjälki	+										
kaavio	+	+	+		+		+				
kuva	+					+	+				
taulukko	+						+				
tehtävä	>12kpl		3		1	1					
Lähteekö oppilaan kysymyksistä?	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei	ei
Tutkimuksellista opiskelua vaativia tehtäviä?	+		+		+						

Peruskoulujen oppikirjoissa elinkaariajattelu on esillä neljässä kirjasarjassa viidestä. Lukion oppikirjoista elinkaariajattelua sivutaan suppeammin ja vain kahdessa kirjasarjassa kuudesta. Elinkaariajattelua käsitteleviä tehtäviä on kuitenkin vain 4 / 11 tutkituista kirjasarjoista ja näistäkin kahdessa vain yksi tehtävä. Tehtävän annoista vain kolmen voitiin tulkita kannustavan tutkimukselliseen opiskeluun, mutta nekään eivät vaadi oppilaalta tutkivaa lähestymistapaa niin, että ne kannustaisivat oppilasta kysymään.

Peruskouluissa käytetään kemian opetuksessa yleisimmin joko kirjasarjaa D tai E. Oppikirja-analyysin tulosten perusteella D -kirjasarjassa ei mainita

sanoja ”elinkaari”, ”ekologinen selkäreppu” tai ”jalanjälki” missään yhteydessä. Kierrätystä, jätteiden lajittelua ja materiaalien uudelleen käyttöä sivutaan metallien ja muovien opiskelun yhteydessä. Kirjassa E viimeisen osion nimi on ”Tuotteiden elinkaari”. Osio sisältää kappaleita, joiden on tarkoitus selventää oppilaille paperin, muovin, kosmetiikan, tekstiilien, pesuaineiden, lasin ja keramiikan valmistusprosesseja. Elinkaariaiheisia tehtävänantoja oli kuitenkin kirjassa vain yksi kappale.

Kirjasarjoista laajimmin elinkaariasioita käsittelee kirjasarja A. Siinä loppuosassa (kpl 45/48) kirjaa on lyhyt kappale, jonka nimi on kestävä kehitys. Alaotsikko kertoo, että ”elinkaariarviointi huomioi tuotteen ympäristövaikutukset”. Tässä yhteydessä esitetään kuvasarjana jogurttipurkin matka ruokapöytään ja käsite ”ekologinen selkäreppu” muutamille muille esimerkkituotteille.

Kahdessa muussa peruskoulujen kemian oppikirjassa B ja C elinkaariaiheet ovat esillä suppeasti. Kirjasarjassa B ei ole yhtään elinkaariasiaa, ekologista selkäreppua tai jalanjälkiasioita käsittelevää tehtävänantoa. Kirjasarjassa C elinkaariaiheisia tehtävänantoja oli kolme kappaletta. Aihepiirin käsittely on molemmissa kirjasarjoissa puutteellista.

Lukion kirjasarjoissa H, I, J ja K ei mainita sanoja ”elinkaari”, ”ekologinen selkäreppu” tai ”jalanjälki” missään yhteydessä. Kirjasarjoissa saatetaan sivuta esimerkiksi kierrätystä, mutta etsittyjä avainsanoja ei kirjasarjoissa esiinny. Ainoat lukion kemian kirjasarjojen poikkeukset ovat kirja F, joka käsittelee virvoitusjuomapakkauksen elinkaarta ja kirjasarjan G neljäs oppikirja, joka käsittelee auton elinkaarta. Kuitenkaan aihepiiristä ei ole G - kirjassakaan yhtään tehtävänantoa. F -kirjassa on yksi elinkaariaiheinen tehtävänanto. Aihepiirin esittely on siis suppeaa verrattuna opetussuunnitelmien tavoitteisiin.

5.1 Ympäristökemian kouluopetuksen haasteet

Tämän tutkimuksen mukaan elinkaariaiheiden tutkimuksellisen opiskelun toteuttamisessa on monia haasteita. Nämä haasteet koskevat opetussuunnitelmien vaatimuksia, oppikirjojen sisältöjä ja opettajien tuen tarvetta ja roolia kehittämisprosessissa.

Teoreettisesta viitekehyksestä ja ongelma-analyysistä havaittiin, että opettajat tarvitsevat tukea elinkaariaiheiden opetuksessa ja tutkimuksellisten opiskelutapojen lisäämisessä. Oppikirjoissa on puutteita elinkaari- ja jänanjälkiaiheisiin liittyen, kun sisältöjä verrataan taulukossa 4 esitettyihin opetussuunnitelmien tavoitteisiin ja uusimpaan tutkimustietoon. (Opetushallitus, 2003; Opetushallitus, 2004)

5.2 Ympäristöaiheiset kemian tutkimuksellisen opiskelun opetusmallit

Koska opettajat selvästi tarvitsevat tukea elinkaariaiheiden opetuksessa ja tutkimuksellisten opiskelutapojen lisäämisessä, suunniteltiin ja toteutettiin kemian opettajille aihepiirin täydennyskoulutus syksyllä 2010. Laadukkaita, opettajille tarjottavia opetusmalleja ja täydennyskoulutusta tukimuotoina peräänkuuluttaa myös uusin tutkimustieto (Herrington et al., 2010; Colburn, 2000).

Täydennyskoulutuksessa opettajat kehittivät omaan opetukseensa vettä (lukiotaso), puuvillaa (ammattikorkea) ja oppilaan intresseistä lähtevän, vapaavalintaisen esineen (yläkoulu) kiertokulkua tutkivat opetusmallit. Opetusmallit on esitetty taulukossa 6. Niiden kehittämisprosessi on kuvailtu luvussa 5.3.

Taulukko 6. Täydennyskoulutuksessa kehitetyt opetusmallit.

Työn nimi	Tutkittava aihe	Luokka-aste ja paikka opetuksessa	Ajan tarve	Lähteet
<i>Vapaa- valintaisen tuotteen elinkaari</i>	projekti jonkin tuotteen tai materiaalin elinkaaresta verkko-oppimisalustalle, vertaiskehittäminen, esitys muille	perusopetus, 8 tai 9 lk	6 x 75 min	itse keksitty
<i>Veden elinkaari</i>	veden kiertokulku ja jäteveden puhdistus	Lukio, KE 5	4 x 45 min	itse keksitty
<i>Puuvillan elinkaari</i>	infotaulu: T-paidan tuotannon ja käytön vaikutukset ympäristöön	Ammatillinen opetus (sosiaali- ja terveydenhuoltoalan-oppilaitos)	5-6 x 45 min	itse keksitty

Opetusmallien ensimmäiset versiot on esitetty kokonaisuudessaan Liitteissä 4 – 6. Opetusmalleja muokattiin yhteisöllisesti tutkimukselliseksi eli oppilaan kysymyksistä versoviksi (Aksela, 2005; Kipnis ja Hofstein, 2006; Pernaa, Aksela & Västinsalo, 2010). Opetusmallien kehittämisprosessi on kuvattu kohdassa 5.3.

Kehittämisprosessin jälkeen vain yksi opetusmalli vastasi sille asetettuja tavoitteita. Yläkouluun suunniteltu ”vapaaavalintaisen esineen kiertokulkua” tutkiva opetusmalli on i) testattu toimivaksi kouluympäristössä ja se pyrkii ii) toteuttamaan taulukkoon 4 koottuja peruskoulun ja/tai lukion opetussuunnitelmien tavoitteita ja kriteereitä, iii) tuomaan esille kemian roolia ympäristönsuojelussa, iv) motivoimaan ja innostamaan oppilasta tutkimukselliseen kemian opiskeluun ja vastuulliseen ajatteluun, v) tutkimukselliseen työtapaan ja vi) kehittämään oppimisen, ajattelun ja ongelmanratkaisun taitoja, työskentelytaitoja ja sosiaalisia taitoja sekä aktiivista osallistumista. Tämä opetusmalli on esitetty Liitteessä 7.

Kehitetty opetusmalli on tutkimuksellisen opiskelun vaativinta tasoa (Blanchard et al. 2010; Colburn, 2000). Siinä oppilas muotoilee itse sekä tutkimusongelman että tutkimusmenetelmät ja -tulokset. Opettaja toimii ohjaajana ja tarpeen mukaan voi heterogeenisessä oppilasryhmässä myös

alentaa tutkimuksellisen tehtävän vaativuustasoa. ”Vapaavalintaisen esineen kiertokulku” -opetusmallin avulla tuodaan oppilaan arkea lähelle se, kuinka omilla valinnoilla ja kemian osaamisella vaikutetaan ympäristön tilaan. Opetusmallin avulla voi nostaa esille esimerkiksi oppilaan työohjeen liitteeseen koottuja, taulukossa 7. esitettyjä kemiallisia ympäristövaikuttimia ja -ulottuvuuksia.

Opetusmallissa on mukana ehdotus oppilasarviointikriteereistä. Arviointiin voi käyttää myös esimerkiksi liitteessä 8. esitettyä harjoitustyön arviointimatriisia (Niemelä et al., 2010).

Taulukko 7. Vapaavalintaisen tuotteen elinkaarta tutkivan opetusmallin avulla voi opettaja tuoda esille oppilaalle esimerkiksi näitä kemiallisia ympäristöulottuvuuksia.

Saasteita tai vaikuttimia hydros-, geo-, atmos- ja biosfääriin	Raskasmetallit, orgaanisesti sitoutuneet metallit, radioaktiiviset aineet, epäorgaaniset aineet (Kaasut: CO _x , NO _x , SO _x , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆ ,), asbesti, leväravinteet, orgaaniset saasteet (Kaasut: fotokemiallisesti aktiiviset hiilivedyt, halogenoidut hiilivedyt, CH ₄ , PAH, dioksiinit, furaanit), polykarbonaatti-bifenyylit, torjunta-aineet, polttoaineet, ilman pienhiukkaset (VOC, PM, NMVOC) viemärijätteet, patogeenit, pesuaineet, karsinogeenit, teratogeenit, maku, haju, väri, melu, lääkeaineet
Saaste-lähteet	1) Pistekuormitus (teollisuus, kaupungit) vs. 2) Hajakuormitus (maatalous eli pellot, karjatalous), lisäksi 3) Laskeuma (energian tuotanto), 4) Luonnonhuhautuma (alumiini, raskasmetallit, happamoituminen)
Vaikutus luontoon	rehevöityminen (N, P...), pH-muutokset - monimuotoisuuden väheneminen (monet eliölajit ovat herkkiä esim. pH:n muutoksille tai torjunta-aineille) maaperän happamoituminen (Suomessa pahinta Etelä-Suomessa - SO ₂ , NO _x , NH ₃) suolaisuus, happikato (H ₂ S), biokertyviä yhdisteitä rikastuu ravintoketjussa, ”roskia” luonnossa enenevissä määrin
Terveysriski	akuutti / krooninen, lajikohtainen / biotooppi, laboratorio / kenttä
Vaikutus eliöön	kuolleisuus, kasvu, lisääntyminen, hormonivaikutukset, perimä, myrkyllisyys, biokertyvien kemiallisten aineiden kantaminen, muutokset biodiversiteetissä, sosiaalisia vaikutuksia.

5.3 Opetusmallin yhteisöllinen kehittämisprosessi

Vastauksena ongelma-analyysistä ja teoreettisesta viitekehyksestä tehtiin havaintoihin suunniteltiin ja toteutettiin kemian opettajille elinkaariaiheiden opetusta ja tutkimuksellisten työtapojen käyttöä tukeva täydennyskoulutus syksyllä 2010. ”Elinkaariajattelu tutkimuksellisen ympäristöaiheisen kemian opetuksen tukena” - täydennyskoulutuksessa tavoitteena oli yhteisöllisesti kehittää tutkimuksellisia elinkaariaiheisia yläkouluun ja lukioon soveltuvia opetusmalleja.

Koulutus järjestettiin kaksiosaisena moduulikoulutuksena, neljänä kuusituntisena lähiopetuspäivänä. Sattumanvaraisesti, vapaaehtoisesti koulutukseen ilmoittautui neljä eri kouluasteiden opettajaa. Kaksi heistä ei töidensä takia kyennyt osallistumaan enää viimeisen päivän lähiopetukseen.

Neljän lähiopetuspäivän aikana tutustuttiin viimeisimpään ympäristökemian, vihreän kemian, elinkaariajattelun ja – analyysien tutkimukseen ja perehdyttiin näihin liittyviin sovelluksiin kouluopetuksessa ja teollisuudessa. Ryhmän kanssa tehtiin myös vihreän kemian oppilastoita laboratoriossa ja vierailtiin Helsingin Veden vedenpuhdistamolla ja Helsingin Yliopiston Kemian laitoksen Analyttisen kemian laboratorion Vihreän kemian tutkimusryhmässä. Koulutuksessa luennoivat tutkimuksen tekijän, täydennyskoulutuskoordinaattorin ja prof. Maija Akselan (aihe: tutkiva opettajuus ja oppiminen) lisäksi myös ympäristön kemikalisoitumiseen perehtynyt, DI, tietokirjailija Anja Nystén (aihe: Ympäristön kemikalisoituminen, media ja T-paidan elinkaari) ja Kuusakoski Oy:stä yhteiskuntasuhteiden johtaja Risto Pohjanpalo (elektroniikan kierrätys ja uudistunut jätelaki). Opettajat pohtivat muun muassa veden, maaperän, ilman ja biologisten eliöiden roolia erilaisten aineiden kiertokulussa ajankohtaisiin uhkaaviin ympäristöongelmiin ja tuotteiden jalanjälkiin liittyen. Liitteeseen 8 on koottu täydennyskoulutuksessa käsiteltyjä, tutkimuksellista opiskelua tukevia, elinkaari- ja vastuullisuusaiheisia verkko-opetusmateriaaleja.

Ensimmäisen koulutusmoduulin jälkeen opettajat saivat tehtäväkseen kehittää oman opetuksensa tarpeita vastaavan elinkaariaiheisen opetusmallin. Mallien tavoitteena oli i) toteuttaa taulukkoon 4 koottuja peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmien tavoitteita ja kriteereitä ii) tuoda esille kemian roolia ympäristönsuojelussa ja iii) motivoida ja innostaa oppilasta tutkimukselliseen kemian opiskeluun ja ympäristönsuojeluun. Tutkimuksellisen työtavan tavoitteiksi asetettiin pyrkimys kehittää oppilaissa tutkivan oppimisen, ajattelun ja ongelmanratkaisun taitoja, työskentelytaitoja, sosiaalisia taitoja sekä aktiivista osallistumista. Lisäksi opettajia pyydettiin testaamaan opetusideaansa omassa opetuksessaan kouluympäristössä.

Tuotokset palautettiin verkko-oppimisalustalle, josta kaikki koulutettavat pystyivät näkemään toistensa tuotokset. Oppimisalustalla kaikki koulutettavat olisivat pystyneet kommentoimaan toistensa töitä ja tähän myös kehoitettiin. Kuitenkaan kukaan opettaja ei tätä tehnyt. Kaikki opettajien kehittämät opetusmallit olivat tutkimuksellisen opiskelun perus- tai keskitasoa. Perustason tutkimuksellisessa tehtävässä oppilas saa opettajalta tutkimusongelman ja –menetelmät, mutta muotoilee tulokset itse. Mitä vaativampi tutkimus sitä enemmän oppilas ottaa vastuuta tutkimuksensa suunnittelusta ja toteutuksesta. (Blanchard et al. 2010; Colburn, 2000) Näiden opetusmallien raakaversiot on esitetty Liitteissä 4-6.

Toisessa koulutusmoduulissa keskityttiin tutkimukselliseen opiskeluun. Osallistujat esittelivät kehittämänsä opetusmallit toisilleen, minkä jälkeen tuotoksia kehitettiin tutkimukselliseen opiskeluun kannustaviksi asiantuntijan tietoiskun avulla ja yhdessä keskustellen. Opettajat kirjoittivat itselleen muistiinpanoja malliensa kehittämisen tueksi. Kaikki täydennyskoulutukseen osallistuneet opettajat olivat käyttäneet omassa kemian opetuksessaan jo aiemmin vähintään perustason tutkimuksellisia työtapoja. Tämä on nähtävissä myös opettajien tuotoksista.

Täydennyskoulutuksen lopuksi opettajia pyydettiin palauttamaan yhteisöllisessä kehittämisessä jalostuneet tuotoksensa. Kehittämiskriteereinä

olivat tutkimuksellisuuden tason nostaminen ja elinkaariaiheeseen syventäminen muiden ideoiden avulla. Lisäksi opettajia pyydettiin testaamaan opetusmalliaan koulussa. Näin toimi neljästä opettajasta vain yksi, joten lopulta ainoastaan hänen opetusmallinsa kehittyi vastaamaan tavoitteita. Kyseinen ”Vapaavalintaisen esineen kiertokulku” -opetusmalli on esitetty Liitteessä 7.

”Vapaavalintaisen esineen kiertokulku” -opetusmalli kehittyi lopulta vastaamaan tutkimuksellisen opiskelun vaativinta tasoa. Opettaja oli jo testannut ensimmäisen koulutusmoduulin jälkeen esittelemäänsä, keskitason tutkimuksellista opetusmallia yläkoulun oppilaille. Hänen mukaansa vaatimustason nosto oli mielekästä ja innosti oppilaita. Kuusi 75 min pituista oppituntia käsittävän mallin tutkimuksellista vaatimustasoa on mahdollista säädellä oppilaiden tason mukaan. Mallia voi integroida esimerkiksi maantiedon tai äidinkielen opetukseen.

Yhteisöllisessä kehittämisprosessissa ”Vapaavalintaisen esineen kiertokulku” -opetusmalli uudistui monipuolisesti. Yhdestä ohjeesta jalostuivat eri ohjeet opettajalle ja oppilaalle. Kurssilla keskusteltiin tutkivien oppilastiimien koosta. Opettajat arvelivat pari- tai pienryhmätyöskentelyn sopivan parhaiten mallin toteutukseen. Jalostumattomassa opetusmallissa ei ollut arviointi osaa. Opettaja lisäsi tuotokseen käyttämänsä arviointiasteikon koulutusmoduulin jälkeen. Opettajan ohjeeseen lisättiin yhdessä elinkaariaiheista tietoa mahdollisten oppilaille esitettävien kysymysten ja vastausten muodossa. Opetusidean viimeiset tunnit saivat myös uusia ideoita. Kurssin ohjaaja ehdotti projektin loppuun sen huipentavaa gaalailtaa, joka nostaisi estradille oppilaat ja heidän tuotoksensa.

Tutkimuksessa kartoitettiin myös opettajien ennakkotietoja teemoista ja palautetta koulutuksen onnistumisesta. Koulutusta ennen ja sen jälkeen opettajille esitettiin avoimia kysymyksiä kurssin teemoihin liittyen. Kysymykset on esitetty luvussa 4.

Koulutuksen ennakkokyselyn ensimmäisessä kysymyksessä opettajat kuvailivat käsitettä "tutkimuksellinen opiskelu". He kuvailivat sitä teoreettiseksi ja/tai kokeelliseksi opiskelutavaksi, jossa "opiskelijat ottavat itse selvää, ns. pienimuotoista tutkimusta", "vaikea määritellä... opiskelijat pohtivat, käyttäen apuna nettiä ja oppikirjoja". Koulutuksen jälkeen käsitteen kuvailu rikastui ja opettajat ottivat esille myös oppilaiden kysymysten asettelun ja kriittisyyden. Lisäksi opettajat määrittelivät tutkimuksellisen opiskelun oppimistavaksi, jossa: "oppilas tutustuu aiheeseen, asettaa tutkimusongelmat, etsii vastauksia, tutustuu toisten töihin, kommentoi ja kannustaa toisia, ottaa opiksi, parantaa omaa työtään. Opettaja ohjaa. Löytyy oppilaan oma mielenkiinto ja halu oppia" ja "opettaja ja oppilaat yhdessä ottavat selvää asioista".

Ennakkokyselyn toisessa kysymyksessä, opettajat kertoivat käyttäneensä tutkimuksellista opiskelua oppilaiden tiedonhakuun "pienimuotoisesti", "kokeellisissa töissä" ja "netin ja oppikirjojen avulla". Koulutuksessa opettajat kehittivät omaan kemian opetukseensa soveltuvan, tutkimuksellisen opetusmallin, joka tavoitteena oli madaltaa kynnystä käyttää tutkimuksellista työtapaa elinkaariaiheissa. Tutkimuksellisen opiskelun teoriaosuus antoi opettajille välineitä kommentoida toistensa tuotoksia ja kehittää niitä tutkivan opiskelun suuntaan.

Ennakkokyselyn kolmannessa kysymyksessä opettajat kuvailivat tuotteiden ja materiaalien elinkaariajatteluun liittyviä tekijöitä. Ennen koulutusta opettajat kuvailivat elinkaariajattelun olevan "kehdestä hautaan" -ajattelua, johon kuuluvat erityisesti kierrätys ja energia-asiat. Vastauksissa painottuivat myös tuotteiden raaka-aineet eli materiaalivalinnat ja jätteiden jatkokäyttömahdollisuudet. Koulutuksen jälkeen opettajat nostivat näiden lisäksi esille välilliset ja paikalliset ympäristöhaitat, hävikin, eettiset valinnat sekä globaalit ympäristövaikutukset. Yksi opettaja ei osannut koulutuksen jälkeen vastata kysymykseen.

Ennakkokyselyn neljännessä kysymyksessä opettajat kertoivat käsitelleensä elinkaariasioita oppilaiden kanssa. Yläkoulun 9. luokalla opettaja oli jo teettänyt Liitteessä 4 esiteltyä ryhmätyötä. Hän kuvaili käyttämäänsä opetusmenetelmää tutkimukselliseksi. Koulutuksen toisessa moduulissa opetusmalleja muokattaessa havaittiin, että työtavan vaatimustasoa pystyi yhä nostamaan, sillä se ei vielä lähtenyt liikkeelle oppilaiden kysymyksistä. Opetusmallin muokattu versio on esitetty Liitteessä 7.

Lisäksi opettajat arvioivat opetushallituksen palautelomakkeella kurssia erilaisilla väittämillä asteikolla 1-5. Kurssipalautelomake on esitetty Liitteessä 3. Opettajien arviot lähes kaikista täydennyskoulutuksen osista olivat joko hyviä (4) tai erittäin hyviä (5). Vain yksi opettaja arvioi kolmea väittämää kurssin onnistumisesta keskinkertaiseksi (3). Kaikki opettajat ilmoittivat suosittelevansa koulutusta muille opettajille. Yleisarvosanaksi kurssista he antoivat 3 ½, 4, 4 ja 5.

6. Johtopäätökset ja pohdinta

Tässä kehittämistutkimuksessa selvisi, että elinkaariaiheisen, tutkimuksellisen kemian opetuksessa on useita haasteita. Kemian oppikirjat eivät tue opettajaa tai oppilasta tarpeeksi elinkaariaiheissa tai kannusta tutkimukselliseen lähestymistapaan. Yksikään tehtävänanto ei lähde kirjoissa liikkeelle oppilaan kysymyksistä tai kiinnostuksen kohteista. Siten ainoastaan oppikirjoihin tukeutuva opetus ei voi saavuttaa asiantuntijaryhmien uusimpiin tutkimusraportteihin tai opetussuunnitelmiin kirjattuja selviä tavoitteita (Rocard et al., 2007; The Inter Academy Panel, 2010; Opetushallitus, 2004; Opetushallitus, 2003).

Opettajilta edellytetään aihepiirin tuntemusta ja aktiivisuutta, sillä elinkaariaiheita ja kemian merkitystä ympäristövastuullisen kehityksen

edistäjänä käsitellään oppikirjoissa vähän. Vaikka opettajat käyttävät työssään myös muuta opetusmateriaalia, viestivät kirjasarjojen sisällöt opettajille ja oppilaille teemojen painoarvoa. Ympäristöaiheiden sijoittuminen kirjojen loppuosaan (yhtä lailla kuin niiden puuttumien tai suppeus) kuvastaa etenkin oppilaille teemojen olevan tärkeysjärjestyksessä vähäisempiä kuin muut kemian opetusaiheet. Elinkaariarviointi keskittyy kirjasarjoissa lähinnä yksittäisten tekijöiden (energia, luonnonvarat) kulutukseen ja unohtaa tuotteiden monitahoiset, välilliset ympäristövaikutukset (vrt. Anastas & Lankey, 2000; Bösch et al., 2003).

Vastauksena haasteisiin järjestettiin kehittämistutkimuksen empiirisessä vaiheessa täydennyskoulutus, joka tuki kemian opettajia sekä elinkaariaiheiden opetuksessa että tutkimuksellisen opetustavan käytössä. (Herrington et al., 2010) Opettajat kokivat koulutuksen hyödylliseksi ja saivat käsitellyissä aiheissa tukea työnsä kehittämiseen. Täydennyskoulutuksen tuotoksena saatiin yksi tavoitteet täyttänyt, yläkoulussa toimivaksi testattu elinkaariaiheinen opetusmalli, joka kannustaa oppilasta tarpeen mukaan jopa vaativan tason tutkimukselliseen opiskeluun (vrt. Colburn, 2000). Kuten Aksela & Karjalainen (2008) tuloksissaan esittävät, myös tähän täydennyskoulutukseen osallistuneet opettajat pitivät ympäristöön ja vastuullisuuteen liittyvän kemian opetuksen kehittämistä tärkeänä ja kokivat aiheiden kiinnostavan oppilaita. Koska opettajat arvioivat koulutuksen hyödylliseksi, se kannattaa järjestää uudelleen.

Kehittämistutkimuksen myötä myös kehittäjä oppi uudentyyppistä ajattelua, mikä on yksi kehittämistutkimuksen vahvuuksista (vrt. Edelson, 2002). Seuraavaan täydennyskoulutukseen osallistuvia on ohjeistettava selkeämmin vertaistuotosten kommentointiin ja opetusmallien käytännöntestaamiseen. Myös lopullisten tuotosten palauttamista kurssialustalle tulee kehittää ja harkita tutkimuksellisen opiskelun käsitteen tarkempaa määrittelyä. Lisäksi kehittämistutkimuksen etenemisen raportointiin (mallien yhteisöllinen kehittäminen ja testaaminen) tulee kiinnittää tarkempaa huomiota, mikä on kehittämistutkimuksen luotettavuustarkastelun suurimpia haasteita (vrt.

Edelson, 2002).

Opettajien yhteisöllisesti kehittämää ”Vapaavalintaisen esineen kiertokulku” - opetusmallia on seuraavaksi tarkoitus testata käytännössä ja selvittää mallin kehittämisalueita (vrt. Pernaa et al., 2010). Tarkoituksena on selvittää, vastaavatko suomalaisten oppilaiden kokemukset tutkimuksellisesta opiskelusta aikaisempia tutkimuksia (vrt. Rocard et al., 2007). Ristiriitaisia tutkimustuloksia tutkimuksellisen opetustavan pitkä- tai lyhytkestoista vaikutuksista oppilaiden tietoihin ja asenteisiin on raportoitu lukuisia. Jatkotutkimusten luotettavuuden kannalta kehittäjä oppi, että on tärkeä panostaa tutkimuksen suunnitteluvaiheeseen, määritellä tutkimuksellisuuden taso yksiselitteisesti tutkimukseen osallistuvan opettajan kanssa ja yrittää vakioida mallin testauksessa luokkatilanteen muuttujat. (vrt. Blanchard et al., 2010; Belland et al., 2009)

Täydennyskoulutuksen opettajien kehittämät opetusmallit voivat tukea oppilaan kiinnostusta ja positiivisempia asenteita ympäristönsuojelua ja luonnontieteitä kohtaan (vrt. Marks & Eilks, 2010; Rocard et al., 2007). Teoreettista viitekehystä kootessa havaittiin, ettei elinkaariajattelun tutkimuksellista soveltamista kemian kouluopetukseen tai sen vaikutuksia oppilaiden asenteisiin ole aiemmin tutkittu Suomessa tai maailmalla. Tämä tutkimus on alkua väitöskirjaan tähtääville jatkotutkimuksille. Tavoitteena on kasvattaa oppilaan ymmärrystä luonnontieteistä ”maailmaa pelastavina” tieteinä ja kehittää oppilaiden ympäristövastuullista toimintaa. Jotta onnistumme, meidän täytyy kouluttaa opettajista tietoisia ympäristökasvattajia ja pyrkiä vaikuttamaan erityisesti oppilaiden ympäristöä huomioivaan käyttäytymiseen (vrt. Short, 2010).

Elinkaariajattelu ja vastuullisuus ovat olennaisia aihepiirejä kemian opetuksessa (vrt. Dondi, 2011; Böschén et al., 2003; Anastas & Lankey, 2000 Opetushallitus, 2004; Opetushallitus, 2003). Koska massamedia tuo kemiaa ja ympäristöaiheita esille useammin ympäristöongelmista ja –katastrofeista kertoen (Asunta, 2003), jää luonnontieteiden opettajille tilaa popularisoida

kemian positiivisia vaikutusmahdollisuuksia esimerkiksi elinkaariajattelun avulla. Uusia toimintamalleja ympäristökasvatukseen ja oppilaan kysymyksille perustuvien työtapojen käyttöön tulisi kehittää pian, sillä asenteet muuttuvat yleensä hitaasti (Johnstone & Reid, 1981). Työtapojen uudistumiseen vaikuttavat eniten opettajat (Herrington et al., 2010). Kaikki täydennyskoulutukseen osallistuneet opettajat aikoivat käyttää kehittämiään opetusmalleja opetustyössään ja jatkokehittää niitä edelleen.

Opetuksellisista tavoitteista riippuen elinkaariarviointia voidaan koulussa yksinkertaistaa ja huomioida tarkasteltavasta tuotteesta vain keskeisimmät elinkaaren vaiheet tai vastuullisuusnäkökohdat. Koska todellisuudessa elinkaarianalyysin teko on erittäin työlästä, oppilaan tutkimuksessa pääpaino ei voi olla tulosten oikeellisuudella. Sen sijaan oppilasta tulee kannustaa omaan pohdintaan, luovuuteen ja kriittiseen tiedon etsintään. Esimerkiksi ilmastomuutoksen ja luonnonvarojen ehtymisen takia keskustelussa ovat erityisen ajankohtaisia erilaiset hiili- ja vesijalanjäljet.

Vaikka tutkimuksellista opiskelua pidetään yleisesti motivoivana ja hyviä oppimistuloksia tuottavana opetusmenetelmänä (vrt. Rocard et al., 2007), myös täydennyskoulutuksessa oli havaittavissa, että kemian opetuksen arkitodellisuus noudattaa yhä perinteistä opettajajohtoista kaavaa. Oppilaiden kysymyksiä ei painotettu kehitettyjen opetusmallien ensimmäisissä versioissa. Jos opetus on liian faktuaalista, abstraktia tai keskittyy enimmäkseen mikrotason malleihin ja matemaattisiin lakeihin, tuntuu kemia etenkin heikommista oppilaista arjesta kaukaiselta ja vaikealta. Silloin oppilaan ymmärrys ja kiinnostus luonnontieteiden luonteeseen eivät riittävästi kehity (vrt. Holbrook, 2010). Jos oppilaat eivät ymmärrä, kuinka alati muuttuva tieto syntyy tutkijan havaintojen pohjalta, jää kokonaiskuva muodostumatta ja opitun tiedon soveltaminen on vaikeaa (McComas, 2004). Näihin haasteisiin voidaan vastata elinkaariaiheisen, tutkimuksellisen opiskelun avulla. Euroopassa on toteutettu lukuisia projekteja (esimerkiksi Parsel –niminen projekti), missä tuetaan sosio-tieteellisen fokuksen tuomista luonnontieteisiin.

Oppilaita kiinnostaa, miksi luonnontieteitä ja kemiaa kannattaa opiskella. Elinkaaritutkimuksilla ja vastuullisuuskeskustelulla voidaan viestittää kemian merkitystä. Pärjääminen terveenä, keskustelutaitoisena, mediakriittisenä kansalaisena nyt ja tulevaisuudessa vaatii kemian ymmärrykseen perustuvia arkisia valintoja. Monipuoliset tiedot auttavat ymmärtämään ympäristöön, lääketieteeseen, talouteen ja teollisuuteen liittyvää kehitystä. Raportissaan Rocard et al. (2007) huomauttavat, että Eurooppa tarvitsee myös tulevaisuudessa luonnontieteissä osaavaa työvoimaa säilyttääkseen kilpailukykynsä. Lisäksi elinkaarianalyysien yhteiskunnallinen kehittyminen vaatii kemisteiltä sekä vihreän kemian kvalitatiivisten periaatteiden arvostamista että kvantitatiivisia innovaatioita (vrt. Anastas & Lankey, 2000; Nikander, 2010).

Kaiken tämän huomioiden, elinkaariajattelu ja tutkimuksellinen opiskelu jäävät tämän päivän kemian opetuksessa vaillinaisiksi. Systemaattinen ohjelma ympäristökasvatukselle puuttuu. Vastuullisen kemian teemojen käsittelyyn tarvitaan lisää luovuutta, tutkimustietoa, sopivaa oppimateriaalia ja opettajien visioita (vrt. Lumivaara & Aksela, 2002). Tarjoamalla opettajille täydennyskoulutusta ja toimiviksi testattuja opetusmalleja voidaan vastata tässä kehittämistutkimuksessa esille tulleisiin haasteisiin.

Lähteet

Adams, E., Garon, S., Ward, T. J., Vanek, D., Marra, N., Jones, D., Henthorn, M. & Striebel, J. (2008). Air toxics under the big sky: A real-world investigation to engage high school science students. *Journal of Chemistry Education*, 85, 221-224.

Aksela, M. (2005). *Supporting Meaningful Chemistry Learning and High-Order Thinking Through Computer-Assisted Inquiry: A design research approach*. Väitöskirja. Kemian opetuksen keskus – Kemian opettajankoulutusyksikkö – Helsingin yliopisto.

Aksela, M. & Karjalainen, V. (2008) *Kemian opetus tänään: Nykytila ja haasteet Suomessa*. Helsinki: Kemian opetuksen keskus – Kemian opettajankoulutusyksikkö – Helsingin yliopisto, 118.

Anastas, P.T. & Lankey, R.L. (2000). Life cycle assessment and green chemistry: the yin and yang of industrial ecology. *Green chemistry*, 2, 289-295.

Anastas, P.T. & Warner, J. C. (1998). *Green Chemistry: Theory and Practice*. New York: Oxford University Press Inc, s. 30.

Asunta, T. (2003). *Knowledge of environmental issues : where pupils acquire information and how it affects their attitudes, opinions, and laboratory behaviour*. Väitöskirja. Jyväskylän yliopisto.

Belland, B.R., French, B.F. & Ertmer, P.A. (2009). Validity and problem-based learning research, *Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 3, 78-83.

Blanchard, M.R., Southerland, S.A., Osborne, J.W., Sampson, V.D., Annetta, L.A. & Granger, E.M. (2010). Is inquiry possible in light of accountability?: A quantitative comparison of the relative effectiveness of guided inquiry and verification laboratory instruction. *Science Education*, 94(4), 577-616.

Böschén, S., Lenoir, D. & Scheringer, M. (2003). Sustainable chemistry: Starting points and prospects. *Naturwissenschaften*, 90, 93-102.

Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. (2007). *Research methods in education*. Lontoo: Croon Helm, 300-313.

Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science scope*, 23(6), 42-44.

Columbia-yliopisto, New York (2011). Center for life cycle analysis.
[verkkodokumentti]. Ks. <http://www.clca.columbia.edu/> [Viitattu 26.4.2011].

Dondi, F. (2011). Ethics in chemical education: Towards the culture of responsibility. Artikkelin esitetty konferenssissa The Concept of Responsibility: Ethics, Chemistry and the Environment –konferenssi, Modena, Italia.

Edelson, D. C, (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *Journal of Learning Science*, 11, 105 – 121.

Eloranta, V. (1995). Ympäristökasvatus peruskoulun yläasteella oppimateriaalien näkökulmasta. Turun yliopiston kasvatustieteiden tiedekunta. Turku: Painosalama Oy, 34-62.

Epstein, I.R. (2007). Diversity in chemistry. *Nature Chemical Biology*, 3, 299 – 302.

Euroopan kemikaalivirasto. [verkkodokumentti]. Ks.
http://echa.europa.eu/home_fi.asp [Viitattu 2.2.2011].

Euroopan komission ympäristöhallintajärjestelmä, [verkkodokumentti]. Ks.
http://ec.europa.eu/environment/emas/about/summary_en.htm [Viitattu 2.2.2011].

Euroopan komissio, Yritys ja teollisuus -sivusto. [verkkodokumentti]. Ks.
<http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/classification/how-does-clp-work/> [Viitattu 2.2.2011].

Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO (2006). Livestocks' long shadow. *Environmental issues and options*. Rome, Italy.
[verkkodokumentti]. Ks.
<http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM> [Viitattu 5.4.2011].

Feierabend, T., Jokmin, S. & Eilks, I. (2011). Chemistry teachers' views on teaching „climate change“ – an interview case study from research-orientated learning in teaching education. *Chemistry education research and practice*, 12, 85-91.

Green Chemistry Institute (2011). The American Chemical Society. [verkkodokumentti]. Ks. <http://www.epa.gov/gcc/pubs/gcinstitute.html> [Viitattu 17.1.2011].

Haavisto, I.& Kiljunen, P. (2011). Maailman paras maa - EVA:n kansallinen arvo- ja asennetutkimus 2011. Helsinki: Taloustieto Oy, 147. <http://www.eva.fi/wp-content/uploads/2011/03/Maailman-paras-maa.pdf>

Hartonen, K., (2009). Johdatus ympäristökemiaan –kurssin luentomateriaali 2009, Helsingin Yliopisto.

Helve, H. (1997). Arvot, maailmankuvat, sukupuoli (i.e. Values, world views and gender). Helsinki: Yliopistopaino, 127.

Herrington, D.G., Yezierski, E.J., Luxford, K.M. & Luxford, C.J. (2010). Target inquiry: changing chemistry high school teachers' classroom practices and knowledge and beliefs about inquiry instruction. *Chemistry Education Research and Practice*, 12, 74-84.

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. (2008). Tutki ja kirjoita, 13.–14. osin uudistettu 59 painos. Keuruu: Otavan kirjapaino Oy.

Hjeresen, D. L., Schutt, D. L & Boese, J. M., (2000). Green chemistry and education. *Journal of Chemistry Education*, 77, 1543-1547.

Holbrook, J. (2010). Education through science as a motivational innovation for science education for all. *Science education international*, 21(2), 80-91.

Huhtinen, K., Lilja, R. & Saloranta, M. (2010). Materiaalitehokkuuden edistäminen ja jätteen ehkäisy ympäristölupaprosessissa. *Ympäristö ja terveys*, (6), 12-15.

The Inter Academy Panel, (2010). International conference: Taking inquiry - based science education (IBSE) into secondary education. National Science Learning Centre, University of York, UK.

Johnstone, A.H. & Reid, N. (1981). Towards a model for attitude change. *International journal of science education*, 3(2), 205-212.

Kemianteollisuus ry (2011). Kemianteollisuus ry:n kannanotto Suomen Akatemian toteuttamaan kemian tutkimuksen arviointiin, 7.2.2011 Helsinki.

Kemiauutiset, Helsingin yliopiston kemian laitoksen verkkolehti.
[verkkodokumentti]. Ks.

<http://www.helsinki.fi/kemia/kemiauutiset/tammikuu.pdf> [Viitattu 2.2.2011].

Kipnis, M. & Hofstein, A. (2008). The inquiry laboratory as a source for development of metacognitive skills. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6, 601-627.

Lappeenrannan teknillinen yliopisto, 2011. Life Cycle Business (LCB) project -tiedote. [verkkodokumentti]. Ks.

http://www.lut.fi/en/joensuu/projects/life_cycle_business/Pages/Default.aspx
[Viitattu 26.4.2011].

Louhimaa, E. (2002). Luonnon sosiaalinen konstruointi, ympäristödiskurssit ja ympäristöön orientoiva kasvatusta. Tutkimus institutionaalisen ympäristökasvatuksen yhteiskunnallisista rakenne-ehdoista ja kulttuuristen mahdollisuuksien kentistä. Väitöskirja. Oulun yliopisto.

Lumivaara, I. & Aksela, M. (2002). Vihreää kemiaa kemian opetukseen, *Dimensio*, 2,16-20.

Lyytimäki, J. (2006). Unohdetut ympäristöongelmat. ISBN-13: 9789516629684, ISBN-10: 9516629687. Helsinki: Yliopistopaino Gaudeamus, 238.

Lyytimäki, J., Rinne, J. & Nisonen, S. (2011). Suomen ympäristön mittarit 2011 – Avainindikaattorit ympäristönsuojeluun. Suomen ympäristökeskus. [verkkodokumentti]. Ks.
www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=126655&lan=fi [Viitattu 21.4.2011].

Marks, R. & Eilks, I. (2010). Research-based development of a lesson plan on shower gels and musk fragrances following a socio-critical and problem-oriented approach to chemistry teaching. *Chemistry Education Research and Practise*, 11, 129-141.

McComas, W. F. (2004). Keys to teaching the nature of science, *Science Teacher*, November, 25-27.

Millar, M. & Millar, K. (1996). The effects of direct and indirect experience on affective and cognitive responses and the attitude-behaviour relation. *Journal of experimental social psychology*, 32, 561-579.

Millar, R. (2004). The role of practical work in the teaching and learning science, paper prepared for the meeting: High school science laboratories: Role and vision national academy of sciences, Washington DC. [verkkodokumentti]. Ks.
http://www7.nationalacademies.org/bose/millar_draftpaper_jun_04.pdf [Viitattu 5.1.2011].

Minner, D. D. & Levy, A.J. (2009). Inquiry-based science instruction – What is it and does it matter? Results from a research synthesis year 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496.

National Research Council, 1996. *National science educationa standards*. Washington D.C: National Academy Press.

Nikander, S. (2010). Kemian avulla pienempiä jalanjälkiä. *Kemian uutiset* 1/2010. Kemianteollisuus ry. [verkkojulkaisu] Ks.
<http://www.helsinki.fi/kemia/kemiauutiset/tammikuu.pdf> [Viitattu 5.5.2011].

Näsäkkälä, E., Flinkman, M. & Aksela, M. (2001) Luonnontieteellisen tutkimuksen tekeminen koulussa. Opetushallitus. [verkkodokumentti]. Ks.
http://www.oph.fi/download/49174_luonnontieteellisen_tutkimuksen_teko_koulussa.pdf [Viitattu 5.5.2011].

OECD, 2011. Better Policies to Support Eco-innovation –raportin tiivistelmä. OECD (Organisation for Economic Cooperation and Development) Studies on Environmental Innovation. ISBN 978-92-64-096677. [verkkodokumentti]. Ks. <http://www.oecd.org/dataoecd/9/28/47347714.pdf> [Viitattu 25.4.2011].

Opetushallitus (2003). Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003. Helsinki: Opetushallitus. [verkkodokumentti]. Ks.
http://www.oph.fi/download/47345_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2003.pdf [Viitattu 5.5.2011].

Opetushallitus (2004). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004. Helsinki: Opetushallitus. [verkkodokumentti]. Ks.
http://www02.oph.fi/ops/perusopetus/pops_web.pdf [Viitattu 5.5.2011].

Pernaa, J., Aksela, M & Västinsalo, J. (2010). Kemian mallit ja visualisointi – kurssin yhteisöllinen uudistaminen malliteoriaan pohjautuvalla kehittämistutkimuksella. Kemian Opetuksen Päivät 2010: Tutkiva lähestymistapa kemian opetukseen. Kemian opetuksen keskus, Helsingin yliopisto. Helsinki: Yliopistopaino Oy, 96-114.

REACH & CLP –neuvontapalvelu (2011). [verkkodokumentti]. Ks. <http://www.reachneuvonta.fi/REACH/reach.nsf/start> [Viitattu 2.2.2011].

Rocard, M., Csermely, P., Jorde, D., Lenzen, D., Walberg-Henriksson, H. & Hemmo V. (2007). Science Education Now: A renewed pedagogy for the future of Europe, European Commission Directorate-General for Research Science, Economy and Society. Euroopan komission asiantuntijaryhmän raportti. Luxemburg. [verkkodokumentti]. Ks. http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf [Viitattu 5.5.2011].

Rukajärvi-Saarela, M., Ojala, P., Käsäkangas, T. & Heikkilä, T. (2010). POPBL- opiskelutavalla lisää motivaatiota luonnontieteiden opiskeluun, Kemian Opetuksen Päivät 2010: Tutkiva lähestymistapa kemian opetukseen. Kemian opetuksen keskus, Helsingin yliopisto. Helsinki: Yliopistopaino Oy, 214-224.

Short, P. (2010). Responsible environmental action: Its role and status in environmental education and environmental quality. *Journal of Environmental Education*, 41, 7-21.

Stockmayer, S. & Gilbert, J. (2002). Informal chemical education. Chemical education: Towards research-based practice, *Contemporary Trends and Issues in Science Education*, 17, 143-146.

Stuttgartin yliopisto, Saksa (2011). Department of Life-Cycle Engineering. [verkkodokumentti]. Ks. http://leadfree.ipc.org/files/RoHS_15.pdf [Viitattu 26.4.2011].

Suomen standardisoinnin keskusjärjestö (2011). [verkkodokumentti]. Ks. http://www.sfs.fi/standardisointi/tietoa_standardeista/ [Viitattu 17.1.2011].

Tilastokeskus (2009). Ympäristöliiketoiminta [verkkodokumentti]. Ks. <http://193.166.173.45/til/ylt/index.html>. [Viitattu 21.4.2011].

Tanskanen, E. (1997). Suomalaiset ja ympäristö kansainvälisestä näkökulmasta. Tilastokeskus. ISSN 0355-2071. Helsinki: Hakapaino Oy, 153.

Taskinen, M. (2008). Ympäristökasvatus ja ympäristökemian opetus vuosiluokilla 7 – 9. Kemian opetuksen päivät 2008: Uusia oppimisympäristöjä ja ongelmalähtöistä oppimista. Kemian opetuksen keskus, Helsingin yliopisto. [verkkodokumentti]. Ks. https://www.jyu.fi/kemia/tutkimus/opettajankoulutus/kop2008/artikkeli_11 [Viitattu 13.2.2011].

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. (2009). Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. ISBN: 9789513153694 . Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy, 182.

Tung, C., Huang, C. & Kawata, C. (2002). The effects of different environmental education programs on the environmental behaviour of seventh-grade students and related factors. *Journal of Environmental Health*. 64(7), 24-29.

Valtiosopimukset (2004). Valtiosopimus 34/2004. Pysyviä orgaanisia yhdisteitä koskeva Tukholman yleissopimus. [verkkodokumentti]. Ks. http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2004/20040034/20040034_2 [Viitattu 2.2.2011].

Vihreän kemian instituutti (2011). Yhdysvaltojen kemian yhdistys.
[verkkodokumentti]. Ks.

http://portal.acs.org/portal/acs/corg/content?nfpb=true&pageLabel=PP_TRANSITIONMAIN&node_id=830&use_sec=false&sec_url_var=region1&uid=aedde555-4a67-422b-95a5-bada5c9f2f95 [Viitattu 2.2.2011].

Välisaari, J. & Lundell, J. (2008). Kemian opetuksen päivät 2008: Uusia oppimisympäristöjä ja ongelmalähtöistä opetusta. Tutkimusraportti nro 129, Jyväskylän yliopiston Kemian laitos, 118.

Wang, F. & Hannafin, M. J. (2004). Using design-based research in design and research of technology-enhanced learning environments. Artikkelit esitetyt konferenssissa the Annual meeting of the American Educational Research Association, San Diego, CA.

Waterworth, J. A. & Waterworth, E. I. (2000). Presence and absence in educational virtual reality: The role of perceptual seduction in conceptual learning. *Themes in Education* 1, 1, 7-38. (verkkodokumenttina nimellä Using a Telescope in the Cave:

Presence and Absence in Educational VR. Ks.

http://www.temple.edu/ispr/prev_conferences/proceedings/98-99-2000/2000/Waterworth%20and%20Waterworth.pdf)

Yhdysvaltojen ympäristönsuojelu virasto (2011). Johdatus vihreän kemian käsitteeseen. [verkkodokumentti]. Ks.
http://www.epa.gov/gcc/pubs/about_gc.html [Viitattu 2.2.2011].

Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto (2011). Elinkaariarviointi. [verkkodokumentti]. Ks. <http://www.epa.gov/nrmrl/lcaccess/> [Viitattu 2.2.2011].

Liitteet

Liite 1. Kemikaalien ympäristöturvallisuuden sääntelykenttä

Liite 2. Analysoidut kirjasarjat koodattuina kirjaimille A – K

Liite 3. Elinkaariajattelu tutkimuksellisen kemian opetuksen tukena 2010 – täydennyskoulutuskurssin jälkeen osallistujien täyttämä palautelomake

Liite 4. Opetusmalli yläkouluun: Vapaavalintaisen tuotteen elinkaaren arviointi

Liite 5. Opetusmalli lukioon: Kemia 5 -kurssi, Reaktiot ja tasapaino

Liite 6. Opetusmalli ammattikouluun: Puuvillan tuotannon ja käytön vaikutus ympäristöön

Liite 7. Opetusmalli yläkouluun: Vapaavalintaisen tuotteen elinkaaren arviointi – Opettajan ohje ja oppilaan ohje

Liite 8. Harjoitustyön arviointimatriisi (Niemelä et al., 2010)

Liite 9. Täydennyskoulutuksessa käsiteltyjä verkkosivustoja ja opetusmateriaaleja

Liite 1. Kemikaalien ympäristöturvallisuuden sääntelykenttä.

Sääntelyn osa	Toteutuminen	Toteuttaja tai toteutuksen muoto
Informaatio	Koulutus, valistus	koulut
		järjestöt
		viranomaiset
		mediat
		yrietykset
Hallinnollis-oikeudellinen	Lait (kans.)	YSL, KemL, KemTurvL, Jätel, KasvinsuojeluaineL, TyöturvL, SäteilyL, GeeniteknL
	Määräykset (kans.)	Käyttöturvallisuustiedotteet
	Asetukset (EU)	CLP, REACH
	Direktiivit (EU)	PäästökattoD, GLP, jätteenpolttoD, paristo-akkuD, eläinkoeD
	Protokollat (kans.väl)	GHS
	Sopimukset (kans.väl)	POP, PIC, ILO, SAICM, CLRTAP
Taloudellinen	Kepit	Verot
		Sanktiot
	Porkkanat	Tuet
		Päästökauppa
Vapaaehtoinen itsesääätely	Standardit	ISO 14 000-sarja, C- ja H ₂ O-standardit tekeillä
	Sopimukset	EMAS-sertifiointi, Responsible care
	Kulttuuriset tavat	kansalaisten ruohonjuuritason teot

kans. = kansallinen, kans.väl = kansainvälinen

L = Laki (esim.YSL = ympäristönsuojeluLaki, KemL = kemikaaliLaki)

CLP = classification, labelling and packaging of chemicals,

REACH = registration, evaluation, authorisation of substances and mixtures

D = Direktiivi (esim. päästökattoDirektiivi)

GHS= globally harmonized system

POPs = Persistent Organic Pollutants (Tukholman sopimus)

PIC = Prior Informed Consent, ilmoitettu ennakkosuostumus (Rotterdamin sopimus)

ILO = International Labour Organization (työsuojelusopimus)

SAICM = Strategic approach on chemicals management (kemikaalien hallinnoinnin strategiasopimus)

CLRTAP = YK:n kaukokulkeutuvia ilmansaasteita koskeva sopimus

ISO 14 000 = kansainvälisen standardointi liiton ympäristöhallin

EMAS = Euroopan komission ympäristöjohtamisjärjestelmä

Liite 2. Analysoidut kirjasarjat koodattuina kirjaimille A – K.

Koodi	Kirjasarja	F	Ojala, P. et al., 2002. Dipoli 1. Tammi.
A	Havonen, T. et al., 2010. Hehku. Otava.	G	Lehtiniemi, K. et al., 2006. Mooli 1 – 5. Otava.
B	Kangaskorte, A. et al., 2010. Fyke 7 – 9. WSOY.	H	Hannola-Teitto, M. et al., 2004. Neon 1 – 5. Edita.
C	Ikonen, M. et al., 2009. Ilmiö. Tammi.	I	Kaila, L. et al., 2005. Reaktio 1 – 5. Tammi.
D	Happonen, J. et al., 2005. Avain 1 – 3. Otava.	J	Kalkku, I. et al., 2008. Kide 1 – 5. Otava.
E	Aspholm, S. et al., 2002. Aine ja energia. WSOY.	K	Lampiselkä, J. et al., 2004. Kemisti 1 – 3, 5. WSOY.

Liite 3. Elinkaariajattelu tutkimuksellisen kemian opetuksen tukena 2010 –
täydennyskoulutuskurssin jälkeen osallistujien täyttämä palautelomake

TAUSTATIEDOT

1. Sukupuoli _____nainen _____mies
2. Äidinkieli _____suomi _____ruotsi
_____muu _____
3. Pääasiallinen työpaikka
_____esiopetuksessa
_____perusopetuksessa
_____lukiossa
_____korkeakoulussa
_____muussa _____
4. Ikä
_____alle 20-vuotias
_____20- 29-vuotias _____30- 39-vuotias
_____40- 49-vuotias _____50- 59-vuotias
_____yli 60-vuotias

KOULUTUKSEN ARVIOINTI

Miten arvioit koulutuskokonaisuuden onnistumisesta?

(Ympyröi oikea vaihtoehto) 1- ei ollenkaan, 2- jonkin verran, 3-
keskinkertaisesti, 4- hyvin, 5- erittäin hyvin.

- a. Koulutuksen sisällöt olivat tärkeitä oman työn kannalta 1 2 3 4 5
b. Koulutuksen sisällöt vastasivat alueellisia tarpeita 1 2 3 4 5
c. Koulutuksen sisällöt vastasivat tavoitteita 1 2 3 4 5
d. Käytännön opetusta ja harjoituksia oli riittävästi 1 2 3 4 5
e. Osallistujien aktiivisuutta ja yhteistoimintaa tuettiin 1 2 3 4 5
f. Koulutus innostutti uudistamaan omia opetusmenetelmiä 1 2 3 4 5
g. Kouluttajat hallitsivat koulutuskokonaisuuden 1 2 3 4 5
h. Muiden asiantuntijoiden antama koulutus onnistui 1 2 3 4 5

6. Kokonaisarvosana koko koulutukselle

(1- erittäin tyytymätön, 5- erittäin tyytyväinen): _____

7. Suositteletko koulutusta muille? _____kyllä _____ei

Miten ymmärrät käsitteen ”tutkimuksellinen opiskelu”? Kuvaile omin sanoin.

Mitä tekijöitä liittyy mielestäsi tuotteiden ja materiaalien elinkaariajatteluun?

Risuja ja ruusuja sekä toiveita/ideoita tulevaisuuteen

Liite 4. Opetusmalli yläkouluun: Vapaavalintaisen tuotteen elinkaaren arviointi

Viisi - kuusi 75min opetustuokiota, missä ajassa tämä projekti pitäisi saada valmiiksi ja esitettyä. Projektit työstetään oppimisalustalle nettiin.

Aiheena on: Tuotteiden elinkaari. Tavoitteena on selvittää elinkaari -käsite ja esitellä jonkin valitsemanne tuotteen elinkaarta. Projektia kirjoitetaan parityönä. Alla "alustavat" ohjeet tuntikohtaisesti, mutta AINA KUN YKSI VAIHE ON VALMIS, voi siirtyä seuraavan tunnin aiheeseen!

1. Tunti: Lukekaa lukukirjasta s. 234-275.

Koko projektin ajan muistathan viitteiden käytön ja TALLENTAMISEN!!! Ilman viitettä olevat kappaleet ovat hylättyjä! Kirjoittakaa "Tuotteen elinkaari" -käsite "omin sanoin" wikisivullemme. Tämä on projektin ensimmäinen kappale. Käsitettä voi päivittää projektin edetessä.

Valitkaa yhteisymmärryksessä jokin tuote (koostuu pääosin vain yhdestä materiaalista!), jonka elinkaarta tutkit. Esim.: sählymaila, reppu, kosteusvoide, autonrengas, paita, jokin keraaminen tuote (tiili?), paperinen tuote, myös jokin yksinkertainen syötävä, kuten leipä. Pari kirjoittaa, miksi päätyi tähän tuotteeseen.

2-3. Tunti: Ongelmien asettaminen ja niihin vastaaminen

Tutki valitsemaasi tavaraa, joka on tehty suurelta osain jostain tietystä materiaalista (paperi, muovi, kosmetiikka, pesuaine, tekstiili, lasi, keramiikka, metalli tms.). Jokaisella parilla on tehtävänä esittää jonkin tavaran elinkaari siinä määrin, kun se kyseisen tuotteen kohdalla onnistuu.

Joudutte ensimmäiseksi itse asettamaan tutkimusongelmia. Käyttäkää ongelmien asettelussa miksi- tai miten-kysymyksiä, johon vastaaminen edellyttää selityksen esittämistä. Kirjoittakaa sivullemme n. viisi mielestänne oleellisinta kysymystä tuotteestanne. Miettikää ainakin:

1. Esitlee tuotteesi lyhyesti (ainakin kuva) Mitä materiaalia se on ja mihin sitä käytetään. Miksi valitsit juuri tämän tuotteen? Löytyisikö netistä videolinkki tuotteeseen?

2. Mitkä ovat valitsemasi tuotteen elinkaaren vaiheet? (Mistä maasta raaka-aine on peräisin? Kuinka paljon vettä tuotteesi valmistus kuluttaa?) ÄLÄ keskity valmistusprosessiin, vaan elinkaareen.

3. Kuinka kauan tuotettasi voidaan käyttää ja pohdi syitä sen käyttöikään. Mieti myös miten käyttöikä voidaan pidentää tai miten tuotteen käyttöä

voidaan tehostaa tai vähentää.

4. Kuinka paljon energiaa kukin tuotteen elinkaari kuluttaa? Mieti ainakin missä suhteessa koko tuotteen elinikään.

5. Mieti oman tuotteesi höydyllisyyttä ja tarpeellisuutta. Olisiko se korvattavissa jollain kestävämmällä tuotteella?

4. Tunti: Kommentointi ja parantaminen

Tämä on hyvin tärkeä ja kriittinenkin vaihe. Saat uusia ideoita projektiisi ja annat samalla ideoita muille. Tämä vaihe on osa projektinne arviointia: Vaikka oma esityksenne olisi loistava, ette saa täysiä pisteitä, ellette ole tukeneet / antaneet kehitysideoita toiselle ryhmälle. Käy tutustumassa listassa seuraavan parin työhön (kahdeksan ryhmää, joista 1 ryhmä kommentoi kakkosta, kakkonen kolmosta jne., ja kasi ryhmä ykköstä).

"Miten kommentointi tapahtuu?":

Esitä kysymyksiä ja anna rakentavaa palautetta kavereittesi töistä. Miten parantaisit niitä? Mitä mielestäsi puuttuu? Onko jokin turhaa? "Käytä kirjoittaessasi eri tekstiväriä, äläkä vahingossakaan muuta muiden kirjoittamaa tekstiä

Mikäli saatte kommentoinnin valmiiksi, alatte kommentoida ketjussa sitä seuraavan ryhmän työtä vastaavasti. Työstäkää oma esityksenne valmiiksi saamanne palautteen perusteella. Onko jotain merkittävää unohtunut? Koettakaa lukea ns. "ulkopuolisen silmin". Onko teksti ymmärrettävää?

5.-6. Tunti: Projektin esittely

Kurssin ensimmäisen luvun aiheena on Vesi. Luvussa käsitellään veden kiertokulkua ja jäteveden puhdistusta. Vesiosuuden toteutus kurssilla seuraavasti:

1. tunti: työ 1 kirjasta Kemisti 5, kotiin luettavaksi koko luku.

2. tunti: motivointina youtubesta Pacific garbage patch -video. Katsotaan oppikirjan dia vedenkierrosta ja sen jälkeen Helsingin veden sivuilta löytyvät "Luontolähellä" -sarjan videot:

Puhdasta vettä hanasta, Puhtaampaa jätevettä ja Ekomultaa lietteestä. Kotiin tehtäviä kirjasta ja tutustuttavaksi Oppimapista seuraavat linkit:

Kotitalouksien vedenkulutus

http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/vedenkulutus

jätevesien puhdistus, Suomen ympäristökeskuksen sivut

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=166903>

Helsingin vesi

<http://www.hsy.fi/vesi/palvelut/jatevesi/Sivut/default.aspx>

3. tunti: käynti kunnan jätevedenpuhdistamolla, yhteistyössä koulun biologian opettajan ja kurssin biologia-3 kanssa.

4. tunti: käynti koulun yhteydessä olevalla uimahallilla.

Liite 6. Opetusmalli ammattikouluun: Puuvillan tuotannon ja käytön vaikutus ympäristöön

Opiskelijat tekevät infotaulun puuvillan tuotannon ja käytön vaikutuksista ympäristöön.

Opiskelijat jaetaan ryhmiin ja kukin ryhmä saa tutkittavaksi yhden aiheen. Infotauluun tehdään luokkuja joulukalenterin tapaan. Luukun kannessa lukee kysymys ja vastaukset löytyvät avaamalla luukku. Kokoamme kansion, jossa on aiheeseen liittyvää materiaalia ja linkkejä.

Kysymykset:

- Missä maissa tuotetaan puuvillaa? Kuinka tärkeä elinkeino se on kyseisille maille?
Millaisia olosuhteita puuvillan viljely vaatii? Mitä haittaa puuvillan viljelystä on ympäristölle?
- Mitkä ovat puuvillan käsittelyn eri vaiheet? Miten nämä eri vaiheet kuormittavat ympäristöä?
- Mieti, miten puuvillasta voi valmistaa mahdollisimman kestävä ja kierrätettävän tuotteen? Miten puuvillatuotteita voidaan käyttää uudelleen ja kierrättää?
- Tutki t-paidan valmistuksen ja käytön ympäristökuormitusta. Selvitä hiilidioksidipäästöt, energiakulutus, lannoitteet, biosidit ja veden kulutus. Vertaa kulutusmääriä tekokuidun valmistuksessa tarvittaviin määriin. Mieti miten ympäristökuormitusta voitaisiin vähentää?
- Vertaa puuvilla- ja tekokuituvaatteiden ominaisuuksia keskenään. Mitä luonnonkuituja voidaan käyttää vaatteiden valmistukseen? Mitä hyviä ja huonoja ominaisuuksia näillä kuiduilla on? Mistä materiaaleista oman ammattialasi työvaatteet on valmistettu?
- Suunnittele uusiotuote korissa olevista kierrätysmateriaaleista.

Liite 7. Opetusmalli yläkouluun: Vapaavalintaisen tuotteen elinkaaren arviointi – Opettajan ohje ja oppilaan ohje

OPETTAJAN OHJE

Tämä yläkouluun tai lukion tutkimuskurssille sopiva tutkimuksellisen kemian opiskelun kokonaisuus käsittää viidestä kuuteen 75 min pituista opetustuokiota. Projektissa tutkijatiimi valitsee heitä kiinnostavan tuotteen, jonka elinkaarta he tutkivat. Raportit työstetään Internetissä olevalle oppimisalustalle. Työtiimit tai -parit voidaan joko arpoa tai sopia. Jokaiselle tiimille valitaan myös opponoiva tiimi ja tukihenkilöksi asiantuntija (opettaja, tutkija, teollisuuden edustaja). Projektia on mielekäs integroida esimerkiksi maantiedon, englannin ja äidinkielen oppituntien kanssa. Tiimit esittävät tutkimustuloksensa projektin huipentavassa gaalaillassa.

Oppilasarviointi ehdotus: Projektista arvioidaan henkilökohtaisesti kolme osa-aluetta, joista kustakin saa 0-3 plussaa. Lopussa opettaja voi vielä käydä oppilaan kanssa lyhyen arviointikeskustelun, jossa opettajan arviointia voi peilata oppilaan itsearviointiin.

1. Motivaatio: innostuneisuus ja ryhmän työskentely, toisten töiden kommentointi
2. Itse työ: sisällöt, asiantuntevuus (omin sanoin!), selkeys, ytimekkyys
3. Luovuus: omien kysymysten ja tutkimusongelmien asettaminen, esityksen monipuolisuus

PROJEKTIN ETENEMINEN

Oppilaiden tavoitteena on selvittää elinkaari -käsitettä ja esitellä jonkin valitsemansa, heitä inspiroivan tuotteen elinkaarta. Seuraavassa ehdotus oppituntikohtaisesti projektin etenemiseen. Tutkimusraportin kirjallista työtä vaativien vaiheiden ehdotettua kulkua kuvaavat kirjaimet A – K. Aina kun yksi vaihe on valmis, oppilaat voivat siirtyä seuraavan tunnin aiheeseen:

1. Tunti: Aiheeseen tutustuminen ja ongelmien asettaminen.

Oppilaat saavat aloittaa aiheeseen perehtymisen lukemalla oppikirjasta elinkaari aiheita käsittelevät osiot tai opettajan valitseman aiheeseen johdattelevan teksti. Muodostetaan tutkijatiimit.

A) Tiimit aloittavat raporttinsa kirjoittamisen kuvailemalla käsitettä "Tuotteen elinkaari" lyhyesti ja omin sanoin. Käsitettä olisi suotavaa päivittää projektin edetessä. Heti alkuun oppilaita tulee ohjeistaa, kuinka tärkeää on käyttää

tekstissä lähdeviitteitä ja miten ne halutaan merkittävän. Ilman viitettä olevat kappaleet hylätään. Kannattaa muistuttaa ryhmää myös tuotosten tallentamisesta koko projektin ajan.

B) Tutkimuksen käynnistämiseksi tiimit tekevät raporttiinsa vähintään kymmenen kysymystä elinkaariaiheesta. Ensimmäiset viisi liittyvät yleisesti tuotteiden elinkaariin. Toiset viisi tiimin yhteisymmärryksessä valitseman, heitä kiinnostavan, tuotteen elinkaareen. Mitä useammista eri materiaaleista (paperi, muovi, kosmetiikka, pesuaine, tekstiili, lasi, keramiikka, metalli, ruoka tm. biomassa...) tuote koostuu, sitä monimutkaisempaa ja haarautuvampaa on elinkaaren selvitystyö. Tuote voi olla esimerkiksi sählymaila, reppu, kosteusvoide, autonrengas, paita, jokin keraaminen tuote, rakennusmateriaalia, paperinen tuote tai ruokaa.

Tärkeintä olisi, että oppilaita kiinnostaa etsiä kysymyksiin vastauksia! Mielekästä oppimista tapahtuu, kun kysymykset ja innostus tutkia lähtevät oppilaiden omasta ihmettelystä ja pohdinnoista. Lisäkysymyksiä on suotavaa kirjata ylös myös tutkimuksen aikana, sitä mukaa, kun niitä herää.

Jos oppilaat eivät millään keksi kysymyksiä tai aiheen käsittely on kapea-alaista, opettaja voi johdatella oppilaita kysymään esim. seuraavanlaisia kysymyksiä:

1. Mitä tarkoittaa ”elinkaari”? Elinkaari kuvaa tuotteen tai toiminnon reittiä ns. kehdestä hautaan: Alkaen raaka-aineiden lähteeltä valmistukseen, jalostukseen, kulutukseen ja loppuen mahdolliseen hyötykäyttöön.

2. Mitä elinkaarta tutkimalla voidaan selvittää? Elinkaarianalyysiin kootaan tuotanto- tai toimintaketjun eri vaiheiden panoksia, kuten kulutettua energiaa, vettä ja materiaaleja (engl. inputs) sekä päästökuormitusta ilmaan, veteen tai maaperään (engl. Outputs). Analyysin tavoitteista riippuen voidaan elinkaareissa painottaa ympäristövaikutusten lisäksi myös taloudellisia, sosiaalisia tai ekologisia näkökulmia.

3. Mikä tai mitkä asiat tuotteiden elinkaarissa kiinnostavat minua eniten?

4. Miten se liittyy kemiaan? Elinkaariajattelun syvempään ymmärtämiseen tarvitaan kemian tietoja. Tuotteen, prosessin tai toiminnon aiheuttamat ympäristövaikutusten takana on aina kemiallisia reaktioita. Ympäristökemia tutkii kemiallisten aineiden alkuperää, reaktioita, kulkeutumista, muuntumista ja vaikutuksia esimerkiksi näihin liittyvän analytiikan, toksikologian ja ekologian avulla. Ympäristöongelmien havaitsemisessa, ehkäisemisessä, seurannassa ja ratkaisemisessa tarvitaan kemian osaajia. Ympäristökemiassa käsitellään muun muassa seuraavia aihealueita: happamoituminen, kierrätys, ilmaston muutos, ongelmajätteet, säästäminen, kemikaalien käsittely, vesitalous, pienet reagenssimäärät, otsonikato, kemikaalit luonnossa, energia, kestävä kehitys ja tuotteiden elinkaari. Ympäristökemian tulevaisuus riippuu suoraan uusien kemistien asialle omistautumisesta.

5. Miksi minun pitäisi pohtia tuotteen elinkaarta? Ympäristökemian tiedot ja elinkaariajattelu kehittävät jokaisen mahdollisuuksia osallistua ympäristöaiheita käsittelevään monimutkaiseen keskusteluun ja päätöksen tekoon. Ne auttavat ymmärtämään omaa vastuuta ja vaikutusmahdollisuuksia kuluttajina, tulevaisuuden asiantuntijoina ja ympäristöystävällisten aineiden ja menetelmien kehittäjinä.

6. Kuka tutkii tuotteiden elinkaaria? Elinkaaria tutkitaan kasvavasti ja laaja-alaisesti yrityksissä, julkishallinnossa ja tutkimuslaitoksissa kuten yliopistoissa.

7. Ketä varten elinkaaria tutkitaan? Elinkaaridatasta ovat kiinnostuneet esimerkiksi aivan tavalliset ihmiset. He voivat käyttää elinkaarianalyysien tietoja kuluttajan, yrityksen työntekijän tai johtoportaan, julkishallinnoijan, kansalaisaktivistin tai vaikka ympäristökemian alan tutkijan roolissa.

8. Mihin elinkaaridataa käytetään? Elinkaaridataa käytetään päätöksenteon tukena. Validoitua, standardoitua dataa sisältävä elinkaarianalyysi on käytössä muun muassa prosessien tai tuotteiden vertailussa, ja ympäristömerkkien myöntämisessä. Elinkaarianalyysien tiedot toimivat apuna tuotekehityksessä, investointipäätöksissä, tiedottamisessa, markkinoinnissa ja uutisoinnissa. Uuden tiedon avulla voidaan pureutua erilaisiin ympäristöongelmiin.

9. Minkälaisiin ympäristöongelmiin elinkaariajattelulla voidaan pureutua? Esimerkiksi erilaisten päästöjen ja jalanjälkien laskemiseen ja kohdentamiseen. Elinkaariarvioinnissa esille tulevat päästöt jakautuvat todellisuudessa usein lukuisiin kategorioihin. Näitä luokkia ovat muun muassa aavikoittamis-, happamoittamis-, ilmastonlämmittämis-, otsonin tuhoamis-, rehevöittämis-, ja toksisuuspotentiaalit alaluokkineen. Analyysin teettäjän tavoitteista riippuu, mitä muuttujia arviointiin halutaan sisällyttää. Ilmastomuutos ja luonnonvarojen ehtyminen ovat nostaneet keskusteluun erityisesti ihmisten, tuotteiden ja prosessien hiili- ja vesijalanjäljet.

10. Voiko elinkaarianalyysin tekoa opiskella jossain? Voi, useissa yliopistoissa ympäri maailman, esimerkiksi Stuttgartin ja Leidenin yliopistoissa Saksassa tai Columbian yliopistossa New Yorkissa. http://www.clca.columbia.edu/people_ra.html

11. Herääkö sinussa muita ristiriitaisia ajatuksia?

12. Liittykö valitsemasi tuotteen valmistukseen mahdollisesti joitakin eettisiä ongelmia?

13. Mitä eettisesti oikeudenmukainen tai vastuullinen tuote tarkoittaa? Tällaisen tuotteen tekijät ovat huomioineet tuotteen elinkaaren ympäristövaikutukset ja sen taloudellisia, sosiaalisia, humanitaarisia tai ekologisia ulottuvuuksia. Eettisesti oikeudenmukaisen tuotteen elinkaari

pyrkii vastuullisuuteen: Se ei vähennä luonnon monimuotoisuutta, kiihdytä ilmastomuutosta, kuluta uusiutumatonta energiaa, polje vähemmistöjen tai eläinten oikeuksia tai vaaranna puhtaan, makean veden ja ravinnon riittävyyttä.

C) Asettamistaan kysymyksistä tiimien tulee muodostaa itselleen tutkimusongelmia. Ne kirjataan raporttiin selkeästi otsikolla ”TUTKIMUSONGELMAT”. Opettaja ohjeistaa oppilaita mitä se tarkoittaa. Ongelmien asettamiseen sopivat hyvin esimerkiksi ”millainen”, ”miksi” ja ”miten” -kysymykset.

Tuotoksen tyyli on raportissa vapaa (tekstiä, piirrosta, taulukkoa, kuvaa, videota ja/tai muuta tallennetta). Kuitenkin kuvailun ja selityksen tulee olla viitteineen selkeää, vaikka oikeita vastauksia ei löytyisikään. Onhan tiedon vähyys tai puutekin tutkimustulos, jonka voi kirjata raporttiin.

Tiimit tutkivat valitsemaansa tavaraa. Tunnin lopulla (tai kotiläksynä) kirjoitetaan raporttiin vielä johdanto tuotteesta:

D) Tuotteen esittely – Millainen valittu tuote on? Mitä materiaalia se on ja mihin sitä käytetään. Miksi valitsitte juuri tämän tuotteen? Löytyisikö netistä videolinkki tuotteeseen?

2-3. Tunti: Ongelmiin vastaaminen

Tiimien tehtävänä on siis koota heistä kiinnostavaa, elinkaari aiheista tietoa tuotteestaan. Tämän tiedon avulla heidän tulee pystyä kuvailemaan tuotteen elinkaarta monipuolisesti tai siinä määrin kuin se kyseisen tuotteen kohdalla onnistuu.

E) Tuotteen elinkaari – Tuotteen elinkaaren pääpiirteitä kuvailevia kysymyksiä: Millaisia vaiheita tuotteen elinkaareen liittyy? Mistä maasta raaka-aineet ovat peräisin? Miten ja missä tuote kootaan lopulliseen muotoonsa? Käytetäänkö kemiallisia apu- ja lisäaineita? Millaisia? Mitä tapahtuu käytön jälkeen? Voidaanko tuotteen materiaaleja hyötykäyttää? Missä elinkaaren vaiheessa syntyy eniten jätettä? Minkälaista jätettä syntyy kemiallisesti? Mihin se päätyy ja miksi? Hajoaako se luonnossa? Miten se hajoaa? Vaikuttaako tuote eniten ilmaan, vesistöihin, maaperään vai eliöihin? Tiimejä ohjeistetaan keskittymään siis laaja-alaisesti kohta kerrallaan tuotteen koko elinkaareen, ei pelkästään valmistusprosessiin.

F) Kulutus (inputs) – Mitä kemiallisia aineita elinkaaren eri osat kuluttavat? Tiimit aloittavat tuotteen valmistusvaiheista, edeten sen ensisijaiseen käyttötarkoitukseen ja lopulta kierrätys- tai jatkokäyttömahdollisuuksiin. Tiimit miettivät ainakin veden ja eri materiaalien kulutusta suhteessa tuotteen koko elinkaareen. Lisäksi he voivat pohtia esimerkiksi energian ja maapinta-alan kulumista. Millaista energiaa ja maa-alaa kuluu? Apukysymyksiä:

Kuluttaako tuotteen valmistus/käyttö/hävitys (vaihe) mielestäsi eniten vettä/energiaa/materiaaleja? Mitä tietoa löydätte mielipiteenne tueksi? Kuinka paljon energiaa kukin tuotteen elinkaari kuluttaa? Millaista energiaa? Kuinka paljon vettä tuotteesi valmistus kuluttaa?

G) Vaikutukset (outputs) – Mitä vaikutuksia tuotteella on elinympäristöön sen elinkaaren eri vaiheissa? Vaikutukset voivat olla esimerkiksi kemiallisia, ekologisia tai sosiaalisia. Mitä positiivisia vaikutuksia? Entä negatiivisia, ei-toivottuja? Miten näitä voidaan tutkia (analytiikka, toksikologia, ekologia ja sosiologia) Oppilaita voi ohjata pohtimaan esimerkiksi seuraavia laajoja ja monimutkaisia saastevaikutuksia (yhdisteiden alkuperä, kulkeutuminen, muuntuminen ja vaikutukset).

Saasteita/vaikutuksia hydros-, geo-, atmos- ja biosfääriin: Raskasmetallit, orgaanisesti sitoutuneet metallit, radioaktiiviset aineet, epäorgaaniset aineet (Kaasut: CO_x , NO_x , SO_x , N_2O , HFC, PFC, SF_6 ,), asbesti, leväravinteet, orgaaniset saasteet (Kaasut: fotokemiallisesti aktiiviset hiilivedyt, halogennoidut hiilivedyt, CH_4 , PAH, dioksiinit, furaanit), polykarbonaatti-bifenyylit, torjunta-aineet, polttoaineet, ilman pienhiukkaset (VOC, PM, NMVOC) viemärijätteet, patogeenit, pesuaineet, karsinogeenit, teratogeenit, maku, haju, väri, melu, lääkeaineet

Saastelähteet: 1) Pistekuormitus (teollisuus, kaupungit) tai 2) Hajakuormitus (maatalous eli pellot, karjatalous). Lisäksi 3) Laskeuma (energian tuotanto), 4) Luonnonhuuhtouma (alumiini, raskasmetallit, happamoituminen)

Vaikutus luontoon: rehevöityminen (N, P...), pH-muutokset - monimuotoisuuden väheneminen (monet eliölajit ovat herkkiä esim. pH:n muutoksille tai torjunta-aineille) ja maaperän happamoituminen (Suomessa pahinta Etelä-Suomessa - SO_2 , NO_x , NH_3) suolaisuus, happikato (H_2S), biokertyviä yhdisteitä rikastuu ravintoketjussa, roskia luonnossa enenevissä määrin

Terveysriski: akuutti / krooninen, lajikohtainen / biotooppi, laboratorio / kenttä

Vaikutus eliöön: kuolleisuus, kasvu, lisääntyminen, hormonivaikutukset, perimä, myrkyllisyys
biokertyvien kemiallisten aineiden kantaminen, muutokset biodiversiteetissä, sosiaalisia vaikutuksia.

H) Arvoanalyysi – Tiimit pohtivat tuotteensa hyödyllisyyttä ja tarpeellisuutta. Olisiko se korvattavissa jollain kestävämmällä tuotteella? Kuinka kauan tuotettasi voidaan käyttää ja pohdi syitä sen käyttöikään. He voivat miettiä, miten käyttöikää voidaan pidentää tai tuotteen käyttöä voidaan tehostaa ja vähentää. Vertaa tuotteen hyödyllisyyttä ja käyttömahdollisuuksia sen ympäristövaikutuksiin ja elinkaareen, mitä havaitset? Tätä kutsutaan arvoanalyysin tekemiseksi.

I) Johtopäätökset – Löytyykö tuotteeseen liittyen yllättävää tietoa? Mikä

koskettti eniten? Löytyykö jopa ns. shokkidataa eli tietoa, mikä jopa järkytti tiimiläisiä?

4. Tunti: Kommentointi ja parantaminen

Oppilaita voi muistuttaa, että tämä on hyvin tärkeä vaihe ja osa projektin arviointia. Tiimit perehtyvät opponoimiinsa raportteihin ja kommentoivat niitä. Näin kaikki saavat uusia ideoita projekteihinsa ja antavat samalla ideoita muille. Kaikkien olisi tuettava ja annettava kehitysideoita toiselle tiimille. Hyvät kehitysideat auttavat eteenpäin ja ovat rakentavia. Jos oppilaat eivät ole oppoineet ennen, on opettajan hyvä ohjeistaa heitä melko tarkkaa. Opponimisessa voi käyttää kirjoitettaessa eri tekstiväriä, niin lisätyt kehitysideat on helppo poimia alkuperäisestä tekstistä. On hyvä painottaa, ettei kenenkään tule vahingossakaan muuttaa muiden kirjoittamaa tekstiä. Jos tiimit saavat opponoinnin valmiiksi, heitä ohjeistetaan kommentoimaan jonkun seuraavan ryhmän työtä vastaavasti.

J) "Miten kommentointi tapahtuu?" – Esitä kysymyksiä ja anna rakentavaa palautetta kavereittesi töistä. Ne voivat olla esimerkiksi kysymyksiä ja linkkivinkkejä. Mitkä projektin osat ovat sinusta kiinnostavimpia ja helppolukuisimpia? Miten parantaisit epäselvempiä projektin osia? Mitä mielestäsi puuttuu? Onko jokin turhaa?

Kotiläksy tai 5. tunti: K) Oppilaat työstävät esityksensä valmiiksi saamansa palautteen ja uusien ideoiden perusteella. Oliko jotain merkittävää unohtunut? Koettakaa lukea elinkaariraporttianne "ulkopuolisen silmin". Onko teksti johdonmukaista, selkeää ja ymmärrettävää?

5.-6. Tunti: Projektin esittely. Projektit esitellään koululla yhteisessä Gaalaillassa. Tässä estradille nousevat työn tekijät opponanttien kysyessä vielä muutamia (ehkä ennalta sovittuja) aiheeseen liittyviä, kuulijoita kiinnostavia ja oleellisia kysymyksiä. Vanhemmat kutsutaan mukaan hienon illan viettoon, jonka pääosassa ovat oppilaat!

Vapaavalintaisen tuotteen elinkaaren arviointi

OPPILAAN OHJE

Tavoitteena on selvittää elinkaari -käsitettä ja esitellä jonkin valitsemanne tuotteen elinkaarta. Koulussa projektin valmisteluun ja esitykseen on

käytettävissä viisi - kuusi 75 min pituista oppituokiota. Työstätte projektit Internetissä olevalle oppimisalustallemme. Kirjoitatte tiimissä vapaamuotoisen raportin, joka esittää jonkin tavaran elinkaaren siinä määrin, kun se kyseisen tuotteen kohdalla onnistuu. Lisäksi opponoitte (kommentoitte) toisen tiimin raporttia. Projektia kirjoitetaan tiimityönä. Alla arviointiperusteet ja alustavat ohjeet tuntikohtaisesti. Aina kun yksi vaihe on valmis, voitte siirtyä seuraavan tunnin aiheeseen.

TYÖN ARVIOINTI

Työstä arvioidaan kolme osa-aluetta, kustakin saa 1-3 plussaa.

- 1. Motivaatio: innostuneisuus ja ryhmän työskentely, toisten töiden kommentointi*
- 2. Itse työ: sisällöt, asiantuntevuus (omin sanoin!), selkeys, ytimekkyys*
- 3. Luovuus: omien tutkimusongelmien asettaminen, esityksen monipuolisuus*

1. Tunti: Aiheeseen tutustuminen ja ongelmien asettaminen.

Lukekaa elinkaari aiheinen luku kirjasta / opettajan antama virittävä teksti.

Raporttinne ensimmäiseksi kappaleeksi kirjoittakaa "Tuotteen elinkaari" - käsite "omin sanoin". Käsitettä on suotavaa päivittää projektin edetessä. Koko projektin ajan muistathan ohjeiden mukaisen viitteiden käytön ja tallentamisen. Ilman viitettä olevat tekstikappaleet ovat hylättyjä.

Tutkimuksenne käynnistämiseksi tehkää elinkaari aiheesta vähintään viisi kysymystä liittyen yleisesti tuotteiden elinkaariin.

Valitkaa yhteisymmärryksessä jokin teitä kiinnostava tuote, jonka elinkaarta tutkit. Kirjoittakaa, miksi päädyitte tähän tuotteeseen. Tehkää vielä vähintään viisi (teitä kiinnostavaa ja mietityttävää!) kysymystä lisää liittyen kyseisen tuotteen elinkaareen.

Tutkikaa valitsemaanne tuotetta ja esitelkää se lyhyesti: Mitä materiaalia se on kemiallisesti? Mihin sitä käytetään? Miksi valitsit juuri tämän tuotteen? Löytyisikö netistä videolinkki tuotteeseen?

Lopuksi (kotiläksyksi?) asettakaa itsellenne tutkimusongelmia. Voitte käyttää apuna alussa pohtimianne kysymyksiä. Tutkimusongelmien avulla lähdette selvittämään tuotteen elinkaarta. Käyttäkää ongelmien asettelussa esimerkiksi ”millainen”, ”miksi” tai ”miten” -kysymyksiä. Kirjoittakaa tutkimusongelmat selkeästi raporttiin otsikolla ”TUTKIMUSONGELMAT”.

2-3. Tunti: Ongelmiin vastaaminen

Selvittäkää ja kuvailekaa tuotteen elinkaari – Keskittykää laaja-alaisesti kohta

kerrallaan tuotteen koko elinkaareen, ei pelkästään valmistusprosessiin.

Kulutus (inputs) – Mitä kemiallisia aineita elinkaaren eri osat kuluttavat? Aloittakaa tuotteen valmistusvaiheista, edeten sen ensisijaiseen käyttötarkoitukseen ja loppuen kierrätys- tai jatkokäyttömahdollisuuksiin. Miettikää ainakin veden ja eri materiaalien kulutusta elinkaareen aikana. Lisäksi voitte pohtia esimerkiksi energian ja maapinta-alan kulumista. Vertaa kulutusta tuotteen elinikään.

Vaikutukset (outputs) - Kuvaile tuotteen vaikutuksia elinympäristöömme sen eri elinkaaren vaiheissa. Vaikutukset voivat olla esimerkiksi kemiallisia, ekologisia tai sosiaalisia. Mitä positiivisia vaikutuksia? Entä negatiivisia, ei-toivottuja? Miten näitä voidaan tutkia? Pohtikaa myös esimerkiksi saastevaikutuksia (yhdisteiden alkuperää, kulkeutumista, muuntumista ja vaikutuksia) ilmassa, vesissä, maaperässä ja eliöissä (ks. LIITE).

Arvoanalyysi - Miettikää oman tuotteesi hyödyllisyyttä ja tarpeellisuutta. Voitte pohtia esimerkiksi sen käyttöikää, käyttömahdollisuuksia, hyödyllisyyttä ja korvattavuutta verrattuna tuotteen ympäristövaikutuksiin ja elinkaareen. Tätä kutsutaan arvoanalyysin tekemiseksi.

Johtopäätökset – Löysittekö tutkimuksessanne tuotteeseen liittyvää yllättävää tietoa? Mikä kosketti eniten? Löytyykö jopa ns. shokkidataa eli tietoa, mikä jopa järkytti tiimiläisiä?

4. Tunti: Kommentointi ja parantaminen

Tämä on hyvin tärkeä vaihe. Kaikki saavat uusia ideoita projekteihinsa ja antavat samalla ideoita muille. Kommentointi on osa projektinne arviointia. Kaikkien on tuettava ja annettava kehitysideoita toiselle tiimille. Hyvät kehitysideat auttavat eteenpäin ja ovat rakentavia. Jos oppilaat eivät ole oppoineet ennen, on opettajan hyvä ohjeistaa heitä melko tarkkaa. Opponimisessa voi käyttää kirjoitettaessa eri tekstiväriä, niin kehitysideat on helppo poimia alkuperäisestä tekstistä. On hyvä painottaa, ettei kenenkään tule vahingossakaan muuttaa muiden kirjoittamaa tekstiä. Jos tiimit saavat opponoinnin valmiiksi, heitä ohjeistetaan kommentoimaan jonkun seuraavan ryhmän työtä vastaavasti.

”Miten kommentointi tapahtuu?” Esitä kysymyksiä ja anna rakentavaa palautetta kavereittesi töistä. Ne voivat olla esimerkiksi kysymyksiä ja linkkivinkkejä. Mitkä projektin osat ovat sinusta kiinnostavimpia ja helppolukuisimpia? Miten parantaisit epäselvempiä projektin osia? Mitä mielestäsi puuttuu? Onko jokin turhaa?

Kotiläksy tai 5. tunti: Työstäkää oma esityksenne valmiiksi saamanne palautteen ja uusien ideoiden perusteella. Oliko jotain merkittävää unohtunut?

Koettakaa lukea elinkaariraporttianne "ulkopuolisen silmin". Onko teksti johdonmukaista, selkeää ja ymmärrettävää?

5.-6. Tunti: Projektin esittely. Projektit esitellään koululla yhteisessä Gaalaillassa. Tässä estradille nousette te, tutkijatiimit. Opponentit kysyvät vielä muutamia aiheeseen liittyviä, kuulijoita kiinnostavia ja oleellisia kysymyksiä (voitte sopia nämä etukäteen). Kotiväki kutsutaan mukaan hienon illan viettoon!

Oppilaan ohjeen LIITE: Kemiallisia saastevaikutuksia

Saasteita/vaikutuksia hydros-, geo-, atmos- ja biosfääriin	Raskasmetallit, orgaanisesti sitoutuneet metallit, radioaktiiviset aineet, epäorgaaniset aineet (Kaasut: CO _x , NO _x , SO _x , N ₂ O, HFC, PFC, SF ₆ ,), asbesti, leväravinteet, orgaaniset saasteet (Kaasut: fotokemiallisesti aktiiviset hiilivedyt, halogennoidut hiilivedyt, CH ₄ , PAH, dioksiinit, furaanit), polykarbonaatti-bifenyyli, torjunta-aineet, polttoaineet, ilman pienhiukkaset (VOC, PM, NMVOC) viemärijätteet, patogeenit, pesuaineet, karsinogeenit, teratogeenit, maku, haju, väri, melu, lääkeaineet
Saastelähteet	1) Pistekuormitus (teollisuus, kaupungit) vs. 2) Hajakuormitus (maatalous eli pellot, karjatalous), lisäksi 3) Laskeuma (energian tuotanto), 4) Luonnonhuuhtouma (alumiini, raskasmetallit, happamoituminen)
Vaikutus luontoon	rehevöityminen (N, P...), pH-muutokset - monimuotoisuuden väheneminen (monet eliölajit ovat herkkiä esim. pH:n muutoksille tai torjunta-aineille) ja maaperän happamoituminen (Suomessa pahinta Etelä-Suomessa - SO ₂ , NO _x , NH ₃) suolaisuus, happikato (H ₂ S), biokertyviä yhdisteitä rikastuu ravintoketjussa, roskia luonnossa enenevissä määrin
Terveysriski	akuutti / krooninen, lajikohtainen / biotooppi, laboratorio / kenttä
Vaikutus eliöön	kuolleisuus, kasvu, lisääntyminen, hormonivaikutukset, perimä, myrkyllisyys, biokertyvien kemiallisten aineiden kantaminen, muutokset biodiversiteetissä, sosiaalisia vaikutuksia.

Liite 8. Harjoitustyön arviointimatriisi. (Niemelä et al., 2010)

Laatuluokat Osaamisalueet	Riittämätön taso	Riittävä taso	Hyvä taso	Erinomainen taso
Ennakko- tehtävään perehtyminen ja työn suunnittelu, Painotus 20 %	Ei etukäteis- suunnittelua, työn suunnittelu työn edetessä. Ennakko- tehtävään ei tutustuttu.	Alustava suunnitelma työn etenemisestä. Ei käsitystä käytännön aikataulusta. Ennakko- tehtävään tutustuttu.	Suunniteltu ja alustava aikataulu, jossa arvioitu itsenäisten työvaiheiden kesto. Ennakko- tehtävään tutustuttu.	Suunniteltu ja alustava aikataulu, jossa arvioitu itsenäisten työvaiheiden kesto. Varauduttu myös vaihtoehtoihin ratkaisuihin.
Työn käytännön toteutus, Painotus 40 %	Täysin opettaja- johtoinen, ei itsenäistä työskentelyä.	Työohjeita seuraten pääosin itsenäistä työskentelyä. Ei lainkaan itsenäistä ongelman- ratkaisukykyä.	Itsenäinen toteutus. Jonkin verran omia ongelman- ratkaisutaitoja. Aiemmin opitun tiedon hyödyntäminen.	Itsenäinen toteutus, jossa omia ongelman- ratkaisutaitoja myös vaativien ongelmien kohdalla. Aiemmin opitun tiedon syvällinen hyödyntäminen.
Saadut tulokset ja niiden luotettavuus, Painotus 10 %	Ei onnistuneita mittauksia. Ei omaa arviota mahdollisista virhelähteistä.	Tulosten tarkkuus ja toistotarkkuus tydyttäviä. Pinnallisia arvioita mahdollisista virhelähteistä.	Luotettavat tulokset. Oma arvio tulosten luotetta- vuudesta ja mahdollisista virheistä.	Luotettavat tulokset. Oma kriittinen arvio tulosten luotetta- vuudesta ja mahdollisista virheistä.
Raportointi, Painotus 30 %	Raportista ei löydy kaikkia tarvittavia osioita. Runsaasti lasku- ja kirjoitus- virheitä, ei viitteitä, plagiointi.	Raportista löytyvät kaikki tarvittavat osiot. Viimeistelyssä puutteita. Muutamia viitteitä ja teorian pintapuolinen esittely. Muutamia lasku- ja kirjoitus- virheitä.	Raportti on sujuvasti kirjoitettu ja siitä löytyvät kaikki tarvittavat osiot. Ei laskuvirheitä. Teoriaosuudessa a useita viitteitä ja tulosten pohdintaa / analysointia.	Huolellinen viimeistely. Muotoseikat ja rakenne kunnossa. Ei laskuvirheitä. Teoria osuudessa viitteitä ja tulosten syvällinen pohdinta / analysointi.

Liite 9. Täydennyskoulutuksessa käsitellyt verkkosivustoja ja opetusmateriaaleja.

ELINKAARIIN LIITTYVIÄ LINKKEJÄ:

- Monenlaista, mm. auton kierrätys www.kuusakoski.fi
- Hissin ja liukuportainen elinkaarianalyysi
http://www.kone.com/corporate/fi/yritysvastuu/yritysvastuun_tunnuslukuja/ymparistotietoja/elinkaarianalyysi/Pages/default.aspx
- Pesuaineiden elinkaarianalyysi [www.teknokem.fi/pesuaineiden elinkaari](http://www.teknokem.fi/pesuaineiden_elinkaari)
- Autonrenkaiden elinkaarianalyysi www.nokianrenkaat.fi/renkaanelinkaari
- Kierrätysmuovipullon elinkaarianalyysi
www.hartwall.fi/fi/Yrityspalvelut/Paivittaistavarakauppa/Kierratysmuovipullon-elinkaari/
- Parketin elinkaarianalyysi
http://parketti.upofloor.fi/fi/?_EVIWYSIWYG_FILE=17459&name=file
- Life cycle analysis – linkkejä englanniksi www.life-cycle.org
- Sarjakuvia eri aiheista www.seppo.net
- Jätevesien puhdistus, Suomen ympäristökeskuksen sivut:
<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=166903>
- Helsingin vesi: <http://www.hsy.fi/vesi/palvelut/jatevesi/Sivut/default.aspx>
- Kotitalouksien vedenkulutus:
http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/vedenkulutus

JALANJÄLKIIN LIITTYVIÄ LINKKEJÄ:

Voi arvioida oman ekologisen, hiili tai kasvihuonekaasu jalanjäljen:

- www2.turkuamk.fi/keke/ekofeet2/index.php?page=laskuri
- Maakohtaiset jalanjäljet
www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint_for_nations/
- www.myfootprint.org/
- <http://www.ilmastodieetti.fi/Ilmastolaskuri.html>

Voi arvioida oman vesijalanjäljen:

- www.vesijalanjalki.org
- <http://www.waterfootprint.org/?page=files/home>
- <http://www.h2oconserve.org/home.php?pd=index>
- VESIKRIISI-esite, Maan ystävät ry III-2010.pdf

Voi arvioida oman hiilijalanjäljen:

- www.hs.fi/viesti/hiilijalanjalkitesti#i
- www.tat.fi/ilmanmuutosta/start.html
- <http://cmi.princeton.edu/wedges/game.php>

OPPIMISPELEJÄ JA VASTUULLISUUS-/KIERRÄTYSTIETOA:

- Riskipeli <http://www.finenvi.org/riskipeli/riskipeli.html>
- Testaa ekotehokkuutesi <http://www.jly.fi/ekoteho/esko/osio1.htm>
- Oppimispeli <http://honoloko.eea.europa.eu/Honoloko.html>
- WWF:n pelejä http://wwf.panda.org/how_you_can_help/games/
- Turun AMK:n <http://www.vihreapolku.info/>
- Kierrättämisestä biologeilta tietoa
<http://www.helsinki.fi/jarj/symbioosi/kierratys/.jly.fi/ekoteho/>
- Kuluttajaliitto ry:n <http://www.eettinenvalinta.fi/>
- Karttoja aiheesta:
http://maps.grida.no/go/graphic/trafficking_waste_stories
- Kierrätystietoa ja lähimmät kierrätyspisteet <http://www.kierratys.info/>
- Vesilähettiläitä ja oppimateriaaleja
www.wwf.fi/ymparisto/ymparistokasvatus
- Vesitalous –lehti <http://www.vesitalous.fi/fi/etusivu.html>
- Ope-tv: ”Minun ekotekoni” 5 videota <http://opettajatv.yle.fi/>
- great pacific garbage patch
<http://www.youtube.com/watch?v=uLrVCI4N67M>
- WWF:n öljyntorjuntajoukot
http://www.wwf.fi/ymparisto/meret_sisavedet/oljyntorjuntajoukot/
- Luonto lähellä videot <http://www.youtube.com/watch?v=4fYqVjU78AI>