Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskonteksti kemian eheyttävässä opetuksessa: Kehittämistuotoksena verkkomateriaali Venuksen pilvistä

Tekijä: Verneri Hartus

Pro gradu -tutkielma

Kemian opettajankoulutusyksikkö

Kemian osasto

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Helsingin yliopisto

5.6.2019

Ohjaajat:

Maija Aksela

Johannes Pernaa

HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA
MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA FAKULTETEN
FACULTY OF SCIENCE

Tiedekunta – Fakultet – Faculty	Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree programme
Matemaattisluonnontieteellinen tiedekunta	Kemian koulutusohjelma / Aineenopettajan koulutus

Tekijä – Författare – Author

Verneri Hartus

Työn nimi – Arbetets titel – Title

Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskonteksti kemian eheyttävässä opetuksessa: Kehittämistuotoksena verkkomateriaali Venuksen pilvistä

Työn laji – Arbetets art – Level	Aika – Datum – Month and year	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages
Pro gradu -tutkielma	06/2019	127 + 13

Tiivistelmä – Referat – Abstract

Tutkielmassa kuvataan kaksisyklinen kehittämistutkimus. Kehittämistuotoksena muodostuu tarkoituksenmukaista hypermediaa hyödyntävä verkkomateriaali, joka käsittelee Venuksen pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimusta. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskonteksti sopii kemian ehettävään opetukseen perusopetuksessa. Kehittämistuotosta on tavoitteena voida käyttää sellaisenaan kemian eheyttävässä opetuksessa fysiikan ja biologian kanssa perusopetuksen yhdeksännellä luokalla. Tutkimuskysymykset ovat:

1. Millä keinoilla kehittämistarpeet löydetään ja huomioidaan parhaalla mahdollisella tavalla kehittämisprosessin aikana?
2. Millä tavalla Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin ja verkkomateriaalin opetukselliset mahdollisuudet ovat yhteydessä toisiinsa sekä eheyttävän opetuksen teoriaan ja perusopetuksen opetussuunnitelmaan?
3. Kuinka tarpeelliseksi kemian opettajat ja opettajaopiskelijat kokevat astrokemiaa ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevän verkkomateriaalin kemian eheyttävässä opetuksessa?
4. Millaisia jatkokehittämistarpeita kemian opettaja kokee Venuksen pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevällä verkkomateriaalilla olevan?
5. Millaiset hypermediasisällöt soveltuvat Venuksen pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevään verkkomateriaaliin, jota voidaan käyttää sen oppisisällölle määritettyjen oppimistavoitteiden mukaisesti kemian eheyttämiseen fysiikan ja biologian kanssa perusopetuksen yhdeksännellä luokalla?

Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimus on nopeasti kehittyvä tieteenala, jolle on vakiintunut nimeksi astrobiologia. Se soveltaa muiden perinteisten luonnontieteiden ohella kemiaa, jota tarvitaan esimerkiksi elämän aineellisten edellytysten tarkasteluun sekä Maan ulkopuoliseen elämään viittaavien merkkien tunnistamiseen ja tulkitsemiseen. Eheyttävä opetus on kontekstilähtöinen opetustapa, jossa samaa todellisen maailman ilmiötä tarkastellaan kokonaisvaltaisesti usean oppiaineen näkökulmista. Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstia on tutkittu hyvin vähän opetuksen kontekstina, mutta saadut tulokset ovat olleet positiivisia oppilaiden kiinnostuksen ja oppimisen osalta. Verkkomateriaalin tuomia mahdollisuuksia opetukseen ovat esimerkiksi animaatiot, välittömän palautteen tehtävät ja hyperteksti.

Verkkomateriaalin tarve selvitettiin kemian opettajilta ja opettajaopiskelijoilta kvantitatiivisella verkkokyselyllä, johon saatiin 21 vastausta. Vastaajat kokivat, että kemian eheyttävään opetukseen tarvitaan enemmän materiaaleja, joita voi käyttää sellaisenaan opetuksessa. Tulosten perusteella sekä astrokemia että astrobiologia sopivat kemian opetuksen konteksteiksi. Astrokemiaan ja astrobiologiaan liittyvää materiaalia ei ollut vastaajien mielestä saatavilla paljoa.

Kehitetyn verkkomateriaalin jatkokehittämistarpeita selvitettiin yhdeltä kemian opettajalta kvalitatiivisesti haastattelulla, jonka analyysi tapahtui aineistolähtöisellä sisällön kuvaksella. Saatujen tulosten perusteella verkkomateriaalia voidaan pitää onnistuneena. Erityisen hyvin se sopii haastattelun perusteella luonnontieteen kielen opiskeluun. Verkkomateriaalin tärkein jatkokehittämistarve on kokeellisuuteen liittyvän materiaalin lisääminen. Haastateltu kemian opettaja piti verkkomateriaalin hypermediamuotoista oppisisältöä laadukkaana mutta näki siinäkin pieniä jatkokehittämistarpeita.

Kehitetyn verkkomateriaalin www-osoite: https://venusastrobio.wordpress.com/

Avainsanat – Nyckelord – Keywords

astrokemia, eheyttävä opetus, kehittämistutkimus, kemian opetus, Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimus, verkkomateriaali

Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited

E-thesis

Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information

Ohjaajat: Maija Aksela ja Johannes Pernaa

Sisällys

1 Johdanto ... 1
2 Kehittämistutkimus ... 2
2.1 Tutkimuskysymykset ... 5
2.2 Toteutusmalli ... 13
2.3 Luotettavuus ... 15
3 Teoreettinen ongelma-analyysi ... 17
3.1 Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tieteellinen tutkimus ... 17
3.1.1 Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuudet Aurinkokunnassa ... 19
3.1.2 Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimus kemian näkökulmasta 24
3.2 Kemian opetuksen eheyttäminen ... 31
3.2.1 Kontekstuaalisuus kemian opetuksessa ... 36
3.2.2 Monialaiset oppimiskokonaisuudet kemiassa ... 39
3.3 Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimus kemian eheyttävässä opetuksessa ... 40
3.3.1 Mahdollisuudet ... 41
3.3.2 Haasteet ... 44
3.3.3 Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimisen linkittymien perusopetuksen opetussuunnitelmaan ... 46
3.4 Verkkomateriaali opetuksessa ... 51
3.4.1 Animaatiot kemian opetuksessa ... 52
3.4.2 Välittömällä palautteella varustetut tehtävät opetuksessa ... 54
3.4.3 Hyperteksti verkkomateriaaleissa ... 54
3.5 Yhteenveto ... 55
4 Empiirinen ongelma-analyysi I ... 57
4.1 Standardoitu survey kemian opettajien ja opettajaopiskelijoiden kokemuksista Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia tarkastelevan verkkomateriaalin tarpeellisuudesta ... 58
4.1.1 Kyselylomake ja analysointitapa ... 58
4.1.2 Tutkimuksen toteutustapa ja tutkimusasetelma ... 61
4.2 Kemian opettajilta ja opettajaopiskelijoilta saadut kyselytulokset ... 65
4.3 Yhteenveto ... 69
5 Kehittämisprosessi ... 70
5.1 Oppimistavoitteet ja kohderyhmä ... 72
5.2 Oppisisältö ... 74
5.2.1 Kemian sisällöt ... 75
5.2.2 Muiden oppiaineiden sisällöt ... 78

5.2.3 Hypermedia oppisisällössä ... 79
5.3 Muut resurssit ... 87
5.3.1 Työtapaohjeet ... 87
5.3.2 Osaamistesti ... 89
5.3.3 Linkkikokoelmat ... 91
5.4 Yhteenveto ... 92
6 Kehittämistuotos ... 93
6.1 Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuutta Venus-planeetan pilvissä käsittelevä verkkosivusto ... 94
6.2 Empiirinen ongelma-analyysi II ... 98
6.2.1 Kemian opettajan haastattelu ... 98
6.2.2 Tulokset kemian opettajan haastattelusta ... 100
6.2.3 Yhteenveto empiirisestä ongelma-analyysistä II ... 102
6.3 Kehittämistuotoksen jatkokehittämispäätökset ... 103
7 Johtopäätökset ja pohdinta ... 105
Lähteet ... 111
Liitteet ... 128

1 Johdanto

Tarve kemian eheyttävän opetuksen verkkomateriaaleille voidaan olettaa tällä hetkellä suureksi. Nykyisessä perusopetuksen opetussuunnitelmassa velvoitetaan ensimmäistä kertaa kouluja toteuttamaan monialaisia oppimiskokonaisuuksia, millä tarkoitetaan käytännössä samaa kuin opetuksen eheyttämisellä. Eheyttävä opetus on vahvasti kontekstilähtöistä. Kontekstilähtöistä opetusta taas pidetään potentiaalisena keinona luonnontieteiden kiinnostavuuden lisäämiseen (Bennett, Hogarth, & Lubben, 2005). Luonnontieteiden heikko kiinnostavuus on niiden opetuksen keskeisimpiä haasteita (Tähkä, 2012). Monialaisten oppimiskokonaisuuksien lisäksi opetussuunnitelmassa mainitaan monipuoliset oppimisympäristöt ja monimediasisällön käyttäminen opetuksessa, minkä voidaan päätellä lisäävän tarvetta opetukseen suunnatuille verkkomateriaaleille. (Halinen & Jääskeläinen, 2015; Opetushallitus, 2016)

Astrokemia ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimus eli astrobiologia ovat nuoria ja nopeasti kehittyviä tieteenaloja, joista erityisesti jälkimmäisessä sovelletaan laajasti perinteisiä luonnontieteitä (esim. Billings, 2009; Ridderstad, 2012). Kyseiset tieteenalat eivät ole vielä saaneet merkittävää jalansijaa Suomesta, vaikka Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuudet nousevat usein otsikoihin massatiedotusvälineissä ja aihetta popularisoidaan paljon scifi-viihdeteollisuudessa. Muutamat ulkomaiset tutkimukset ovat osoittaneet, että Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuksella on potentiaalia luonnontieteiden eheyttävän opetuksen kontekstina. Lupaavia tuloksia on saatu niin oppilaiden kiinnostukseen liittyen kuin myös oppimisen muodossa. (esim. Arino de La Rubia ym., 2009; Horodyskyj ym., 2018)

Tässä tutkielmassa on tavoitteena tehdä Suomen ensimmäinen Maan ulkopuolisen elämän tutkimuskontekstin opetuskäyttöön liittyvä tutkimus ja luoda näin uutta tietoa aiheesta, jota ei ole tutkittu ennestään juuri missään. Tutkimuksen avulla tuotetaan Venus-planeetan pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevä verkkomateriaali, jota on tavoitteena pystyä käyttämään sellaisenaan kemian eheyttämiseen fysiikan ja biologian kanssa perusopetuksen yhdeksännellä luokalla.

Tutkimusmenetelmänä käytetään kehittämistutkimusta, jonka rakennetta tutkielman rakenne seuraa. Luvussa 2 esitellään kehittämistutkimusta tutkimusmenetelmänä ja kerrotaan esimerkiksi tutkimuskysymykset. Luku 3 sisältää teoreettisen ongelma-analyysin, jossa kehittämistarpeita etsitään kirjallisuudesta. Luku 4 käsittää empiirisen ongelma-analyysin I, jossa kehittämisen tarpeita selvitetään kyselyllä kemian opettajilta ja opettajaopiskelijoilta. Luvussa 5 kuvataan kehittämisprosessia. Luvussa 6 esitellään kehittämistuotos ja tehdään kemian opettajan haastatteluun perustuva empiirinen ongelma-analyysi II, jonka pohjalta kehittämistuotokselle laaditaan jatkokehittämistarpeita. Tutkielma päättyy lukuun 7, jossa tehdään yhteenveto kehittämisestä sekä arvioidaan saatuja tuloksia ja jatkotutkimustarpeita.

2 Kehittämistutkimus

Kehittämistutkimus on suhteellisen uusi ja nopeasti kasvava tutkimusmenetelmä opetusalalla. Ensimmäiset opetusta käsittelevät kehittämistutkimusartikkelit julkaistiin vuonna 1992 (Brown, 1992; Collins, 1992). Vielä 2000-luvun ensimmäisinä vuosina kehittämistutkimusartikkeleita opetuksesta julkaistiin alle 50 vuodessa. Nykyään niitä julkaistaan useita satoja vuodessa. Kehittämistutkimuksesta käytetään myös nimeä design-tutkimus. Alkuperäinen englanninkielinen nimi kehittämistutkimukselle oli *design experiment*. Alkuperäinen nimi on kuitenkin korvautunut nimillä *design research* ja *design-based research.* (Anderson & Shattuck, 2012; Pernaa, 2013)

Opetukseen kehittämistutkimus on tullut tarpeesta poistaa opetuksen teorian ja luokkahuonetodellisuuden välistä kuilua. Kehittämistutkimuksen lähtökohtana toimivat todellisista opetustilanteista nousseet kehittämistarpeet. Kehittämistutkimus on syklinen prosessi, joka sisältää sekä teoreettisia että kokeellisia vaiheita, ja joka yhdistelee kehittämistä ja tutkimista nimensä mukaisesti (Edelson, 2002). Tavoitteena on kehittää opetusta systemaattisesti, joustavasti ja iteratiivisesti (Wang & Hannafin, 2005). Kehittämistutkimuksessa on mahdollista hyödyntää sekä kvantitatiivisia että kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä ja sidosryhmien asiantuntijuutta (Collins, Joseph, & Bielaczyc, 2004). Juutin ja Lavosen (2006) mukaan kehittämistutkimuksella on kolme ominaispiirrettä:

1. Muutoksen tarve on lähtökohtana iteratiiviselle kehittämiselle.
2. Kehittämistutkimuksessa syntyy kehittämistuotos, jota käytetään todellisissa opetustilanteissa.
3. Kehittämisessä saadaan opetusta edistävää tietoa eli uutta teoriaa. (Pernaa, 2013)

Kehittämistutkimuksella on paljon yhteisiä piirteitä toimintatutkimuksen kanssa, sillä ne molemmat pyrkivät kehittämään opetusta teorialähtöisesti, kokeellisesti ja iteratiivisesti. Keskeisenä erona on kuitenkin se, että kehittämistutkimuksen päätavoitteena on uusi teoria, jota pyritään yleistämään, vaikka tutkimus olisikin tehty pienessä mittakaavassa. Toimintatutkimuksen tavoitteena on taas luoda paikallisesti toimivia ratkaisuja. (Anderson & Shattuck, 2012; Pernaa, 2013)

Kehittämistutkimuksessa voidaan hakea vastausta kolmenlaisiin kysymyksiin. Jokainen kysymystyyppi linkittyy omaan kehittämispäätöskategoriaan ja tuottaa tietynlaista teoriatietoa. Nämä kysymystyypit, kehittämispäätöskategoriat ja saatavat teoriatietotyypit on esitetty taulukossa 1. (Edelson, 2002, 2006)

Taulukko 1. Kehittämistutkimuksen mahdollisuudet (Edelson, 2002, 2006)

Tutkittava kysymys	Kehittämispäätöskategoria	Tuotettavat teoriatyypit
Miten kehittämisessä edetään?	Kehittämisprosessikategoria (Kehittämistutkimuksen toteuttamissuunnitelma)	Ohjaavat kehittämismallit
Millaisia tarpeita ja mahdollisuuksia kehittämisellä on?	Ongelma-analyysikategoria (Kehittämistutkimuksen tavoitteet, tarpeet ja haasteet)	Haluttuun lopputulokseen pääsemistä kuvailevat teoriat ja kontekstisidonnaiset kuvailevat teoriat
Millaiseen tuotokseen kehittäminen johtaa?	Kehittämistuotoskategoria (Ratkaisu, johon kehittämistutkimuksessa päädytään)	Ohjaavat mallit

Kehittämistutkimuksen on aina alettava ongelma-analyysistä, koska kehittämisen lähtökohtana on aina todellinen ongelma. Tämän tutkielman kehittämistutkimuksen ensimmäisen syklin ongelma-analyysiä käsitellään luvuissa 3 ja 4. Tässä kehittämistutkimuksessa ensimmäisen syklin ongelma-analyysi on sekä teoreettista (luku 3) että empiiristä (luku 4). Se voisi olla myös pelkästään teoreettista. Ensimmäisen syklin ongelma-analyysiä kutsutaan myös tarveanalyysiksi, koska sillä selvitetään kehittämisen tarpeet, mahdollisuudet ja haasteet. (Edelson, 2002, 2006; Juuti & Lavonen, 2006; Pernaa, 2013)

Ongelma-analyysin jälkeen tutkimuksen kehittämistavoitteet selkeytyvät, jolloin voidaan laatia alustava kehittämissuunnitelma, jota kuitenkin päivitetään koko tutkimuksen ajan joustavasti. Kun alustava kehittämissuunnitelma on valmis, aloitetaan varsinainen kehittämisprosessi, jonka pohjalta syntyy ensimmäinen versio kehittämistuotoksesta. Tämän tutkielman kehittämisprosessin kuvaus esitellään luvussa 5. Kehittämistutkimus on monisyklinen, joten syntynyttä tuotosta kehitetään edelleen uuden ongelma-analyysin pohjalta. Jokainen kehittämistutkimuksen sykli pitää sisällään ongelma-analyysiä, suunnitelman tekemistä, kehittämistä, testaamista, arviointia ja suunnitelman päivitystä. Tämän tutkielman kehittämistuotos ja kehittämistutkimuksen toinen sykli esitetään luvussa 6. (Edelson, 2002, 2006; Pernaa, 2013)

Luvussa 2.1 esitellään tämän tutkielman kehittämistutkimuksen tutkimuskysymykset. Luvussa 2.2 kerrotaan tämän tutkielman kehittämistutkimuksen rakenteesta. Luvussa 2.3 käsitellään kehittämistutkimuksen luotettavuutta sekä yleisellä että tämän tutkielman kehittämistutkimuksen tasolla.

2.1 Tutkimuskysymykset

Tämän kehittämistutkimuksen tavoitteena on selvittää, miten hyvin Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskonteksti sopii kemian eheyttävään opetukseen Suomen perusopetuksen yhdeksännellä luokalla. Tavoitteena on tuottaa kontekstiin liittyvä verkkomateriaali, jota voidaan käyttää kemian eheyttävässä opetuksessa fysiikan ja biologian kanssa. Taulukossa 2 on esitelty kehittämistutkimuksen tutkimuskysymykset ja niistä saatavat teoriatyypit (Edelson, 2002, 2006).

Taulukko 2. Tutkimuskysymykset ja tuotettava teoria (Edelson, 2002, 2006)

Tutkimuskysymys	**Kehittämispäätöskate-goria**	**Tuotettavat teoriatyypit**
1. Millä keinoilla kehittämistarpeet löydetään ja huomioidaan parhaalla mahdollisella tavalla kehittämisprosessin aikana?	Kehittämisprosessikate-goria	Ohjaavia kehittämismalleja: • menetelmistä, joilla kehittämisen kannalta oleellista teoriaa analysoidaan • menetelmistä, joilla kehittämistarpeita hankitaan empiirisesti • kehittämispäätösten perustelusta teorian ja/tai empiiristen osuuksien tulosten pohjalta

Taulukko 2 (jatkuu). Tutkimuskysymykset ja tuotettava teoria (Edelson, 2002, 2006)

Tutkimuskysymys	**Kehittämispäätöskate-goria**	**Tuotettavat teoriatyypit**
2. Millä tavalla Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin ja verkkomateriaalin opetukselliset mahdollisuudet ovat yhteydessä toisiinsa sekä eheyttävän opetuksen teoriaan ja perusopetuksen opetussuunnitelmaan?	Ongelma-analyysikategoria (Teoreettinen ongelma-analyysi)	Kuvailevia teorioita: • Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuk-sien tutkimuskontekstin mahdollisuuksien yhteydestä perusopetuksen opetussuunnitelmaan ja eheyttävän opetuksen teoriaan • Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuk-sien tutkimuskontekstin opetuskäyttöä tukevista verkkomateriaalin ominaisuuksista • verkkomateriaalin ominaisuuksista, jotka ovat linjassa perusopetuksen opetussuunnitelman kanssa ja tukevat kemian eheyttävää opetusta

Taulukko 2 (jatkuu). Tutkimuskysymykset ja tuotettava teoria (Edelson, 2002, 2006)

Tutkimuskysymys	**Kehittämispäätöskate-goria**	**Tuotettavat teoriatyypit**
2. Millä tavalla Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin ja verkkomateriaalin opetukselliset mahdollisuudet ovat yhteydessä toisiinsa sekä eheyttävän opetuksen teoriaan ja perusopetuksen opetussuunnitelmaan?	Ongelma-analyysikategoria (Teoreettinen ongelma-analyysi)	Kuvailevia teorioita (jatkuu): • Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuk-sien tutkimuksesta ja kemian merkityksestä siinä • Maan ulkopuolisen elämän mahdollisuuksista ja haasteista kemian opetuksessa • verkkomateriaalin mahdollisuuksista kemian opetuksessa

Taulukko 2 (jatkuu). Tutkimuskysymykset ja tuotettava teoria (Edelson, 2002, 2006)

Tutkimuskysymys	**Kehittämispäätöskate-goria**	**Tuotettavat teoriatyypit**
3. Kuinka tarpeelliseksi kemian opettajat ja opettajaopiskelijat kokevat astrokemiaa ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevän verkkomateriaalin kemian eheyttävässä opetuksessa?	Ongelma-analyysikategoria (Empiirinen ongelma-analyysi I)	Kuvailevia teorioita: • verkkomateriaalin oppisisällön opetuskäyttöä tukevien resurssien määrästä • astrokemian ja astrobiologian suhteellisista painotuksista verkkomateriaalin oppisisällössä • eheyttävän opetuksen materiaalien tarpeellisuudesta • astrokemian ja astrobiologian oppimateriaalien tarpeellisuudesta • astrokemian ja astrobiologian soveltuvuudesta kemian opetuksen konteksteiksi

Taulukko 2 (jatkuu). Tutkimuskysymykset ja tuotettava teoria (Edelson, 2002, 2006)

Tutkimuskysymys	**Kehittämispäätöskate-goria**	**Tuotettavat teoriatyypit**
4. Millaisia jatkokehittämistarpeita kemian opettaja kokee Venuksen pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevällä verkkomateriaalilla olevan?	Ongelma-analyysikategoria (Empiirinen ongelma-analyysi II)	Kuvailevia teorioita: • verkkomateriaalin puutteista • verkkomateriaalin ja sen elementtien soveltuvuudesta kemian eheyttävään opetukseen
5. Millaiset hypermediasisällöt soveltuvat Venuksen pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevään verkkomateriaaliin, jota voidaan käyttää sen oppisisällölle määritettyjen oppimistavoitteiden mukaisesti kemian eheyttämiseen fysiikan ja biologian kanssa perusopetuksen yhdeksännellä luokalla?	Kehittämistuotoskate-goria	Ohjaavia malleja: • verkkomateriaalissa käytettävästä hypermediasta • verkkomateriaalin opetuskäytölle asetettavista oppimistavoitteista • verkkomateriaalille sopivasta kohderyhmästä • verkkomateriaaliin tulevista kemian sisällöistä • verkkomateriaaliin tulevista fysiikan ja biologian sisällöistä • verkkomateriaalin oppisisällön opetuskäyttöä tukevista resursseista

Ensimmäisellä tutkimuskysymyksellä haetaan tietoa kehittämistutkimuksessa käytettävistä menetelmistä ja niillä saatujen tulosten käytöstä. Tutkimuskysymykseen haetaan vastausta koko kehittämistutkimuksen aikana. Kysymyksen avulla pyritään löytämään kehittämistutkimukselle rakenne, joka ohjaa kehittämisen kohti tavoiteltua päämäärää. Ensimmäinen tutkimuskysymys kysyy myös, miten muihin tutkimuskysymyksiin vastauksena saatua teoriaa hyödynnetään kehittämisprosessissa. Näin ensimmäinen tutkimuskysymys linkittyy kaikkiin muihin tutkimuskysymyksiin.

Toiseen tutkimuskysymykseen vastataan teoreettisessa ongelma-analyysissä luvussa 3. Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstia on tutkittu opetuksessa melko vähän maailmalla. Suomessa sitä ei ole tutkittu käytännössä ollenkaan tähän tutkielmaan tehdyn tiedonhaun perusteella. Sen vuoksi teoreettisen ongelma-analyysin tärkeimpänä tavoitteena on löytää kyseisen kontekstin yhtymäkohtia perusopetuksen opetussuunnitelmaan. Maan ulkopuolisen elämän tutkimuskonteksti täytyy myös linkittää eheyttävän opetuksen teoriaan, koska kehityksen kohteena on oppimateriaali eheyttävään opetukseen. Kehittämistuotoksen muoto on verkkomateriaali. Tämän takia teoreettisella ongelma-analyysillä on löydettävä tietoa verkkomateriaalin ominaisuuksista, jotka ovat opetussuunnitelman mukaisia, eheyttävää opetusta tukevia ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstiin sopivia.

Kolmanteen tutkimuskysymykseen saadaan vastaus empiirisessä ongelma-analyysissä I luvussa 4. Kehitettävän verkkomateriaalin käytöstä päättävät kemian opettajat. Siksi on tärkeää selvittää, kuinka tarpeellisena nykyiset ja tulevat kemian opettajat pitävät uusia materiaaleja eheyttävään opetukseen. Tarve on luonnollisesti selvitettävä tarkemmin myös kehittämisen kohteena olevalle astrokemiaa ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevälle verkkomateriaalille. Kysymykseen saadun vastauksen perusteella arvioidaan, kuinka paljon verkkomateriaaliin tarvitaan oppisisällön lisäksi opetuskäyttöä tukevia resursseja. Saadun vastauksen perusteella arvioidaan myös, kuinka suuret ovat astrokemian ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien sisältöjen suhteelliset painotukset verkkomateriaalin oppisisällössä.

Neljänteen tutkimuskysymykseen vastataan empiirisessä ongelma-analyysissä II luvussa 6.2. Tutkimuskysymys kohdistuu verkkomateriaalin ensimmäiseen versioon. Kysymykseen saadun vastauksen perusteella arvioidaan verkkomateriaalin onnistuneisuutta ja jatkokehittämistarpeita. Koska tutkimuskysymykseen saatu vastaus kertoo epäsuorasti verkkomateriaalin onnistuneisuudesta, voidaan sen perusteella tehdä johtopäätöksiä siitä, kuinka hyvin kehittämistutkimuksessa päästiin asetettuihin tavoitteisiin.

Viidenteen tutkimuskysymykseen saadaan vastaus luvuissa 5, 6.1 ja 6.3. Luvuissa 5 ja 6.1 tutkimuskysymykseen vastataan teoreettisen ongelma-analyysin ja empiirisen ongelma-analyysin I tuottamien tietojen pohjalta. Luvussa 6.3 tutkimuskysymykseen vastataan uudelleen empiirisen ongelma-analyysin II tuottamien tietojen pohjalta. Kysymykseen saadun vastauksen perusteella verkkomateriaalille määritetään soveltuvat oppimistavoitteet, hypermediamuotoiset oppisisällöt ja opetuskäyttöä tukevat resurssit.

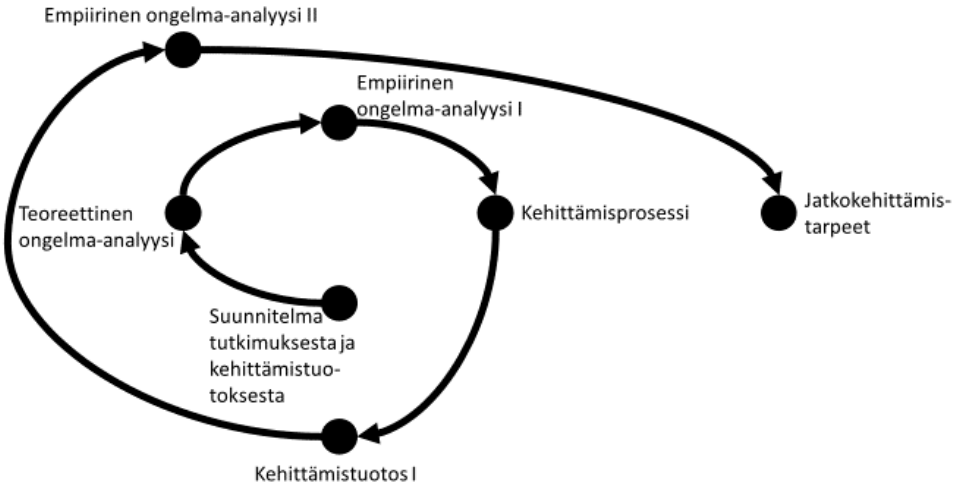
2.2 Toteutusmalli

Tämän tutkielman kehittämistutkimus alkaa teoreettisella ongelma-analyysillä. Tutkimusmenetelminä teoreettisessa ongelma-analyysissä käytetään sekä narratiivista että integroivaa kirjallisuuskatsausta. Narratiivista kirjallisuuskatsausta käytetään, kun esitellään Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tieteellistä tutkimusta, sen opetuksellisia mahdollisuuksia, eheyttävää opetusta ja verkkomateriaalin opetuskäyttöön soveltuvia ominaisuuksia. Integroivaa kirjallisuuskatsausta tarvitaan määritellessä Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin opetuksellisia haasteita, kun kemian eheyttävän opetuksen teoriaa yhdistellään Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin luonteeseen. Myös Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin yhteys perusopetuksen opetussuunnitelmaan haetaan luonnollisesti integroivalla kirjallisuuskatsauksella. Samoin integroivaa kirjallisuuskatsausta tehdään, kun tarkastellaan verkkomateriaalin ominaisuuksien sopivuutta peruskoulun eheyttävään opetukseen ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstiin. (Hirsjärvi, Remes, & Sajavaara, 1997)

Teoreettista ongelma-analyysiä seuraa empiirinen ongelma-analyysi I, jota käytetään kehittämisen tarpeen arviointiin. Tutkimusmenetelmänä empiirisessä ongelma-analyysissä I käytetään standardoitua surveytä eli kyselylomaketta, jolla saatuja tuloksia analysoidaan kvantitatiivisesti (Valli, 2001). Tutkimuksen kohteena ovat kemian opettajat ja opettajaopiskelijat. Teoreettinen ongelma-analyysi, empiirinen ongelma-analyysi I ja niiden pohjalta tehtävä kehittämistuotoksen ensimmäisen version kehittämisprosessi muodostavat kehittämistutkimuksen ensimmäisen syklin.

Kehittämistuotoksen ensimmäisen version onnistuneisuutta tutkitaan empiirisellä ongelma-analyysillä II. Empiirinen ongelma-analyysi II sisältää verkkomateriaaliin tutustuneen kemian opettajan haastattelun, jolle tehdään analyysinä kvalitatiivinen sisällön kuvaus aineistolähtöisesti (Tuomi & Sarajärvi, 2009). Empiirisessä ongelma-analyysissä II määritetään kehittämistuotoksen jatkokehittämistarpeet, joiden pohjalta tehdään

jatkokehittämispäätöksiä. Empiirinen ongelma-analyysi II ja kehittämistuotoksen jatkokehittämispäätösten kuvaus muodostavat kehittämistutkimuksen toisen syklin. Toinen kehittämissykli jää vajaaksi, koska se ei johda kehittämistuotoksen toiseen versioon vaan ainoastaan kehittämispäätöksiin. Kuvassa 1 on esitetty kaavio kehittämistutkimuksen toteutusmallista.



Kuva 1: Kaavio kehittämistutkimuksen toteutusmallista

2.3 Luotettavuus

Kehittämistutkimuksen luotettavuutta kritisoidaan, koska kehittämistutkimuksien laajoja ja pitkiä tutkimusprosesseja on hankala koordinoida, ja koska kehittämistutkimuksella ei ole kovin vankkaa teoriapohjaa eikä yhteneviä tutkimusmenetelmästandardeja. Luotettavuudelle asettaa haasteita kehittämistutkimuksen avoimuus ja monimutkaisuus. Kehittämistutkimuksen kokeellisia vaiheita toteutetaan tavallisesti kvalitatiivisesti pienellä otoksella, minkä katsotaan heikentävän sen luotettavuutta. Pienet otoskoot hankaloittavat usein yleistyksien tekemistä, koska havainnot tehdään yksittäisistä sosiaalisista tapahtumista ainutkertaisessa kehittämiskontekstissa, jossa on paljon hankalasti identifioitavia muuttujia. (Dede, 2004; Edelson, 2002; Kelly, 2004; Pernaa, 2013)

Perinteiset tieteellisen tutkimuksen luotettavuuden arviointiin käytettävät validiteetti ja reliabiliteetti sopivat vain kvantitatiivisiin tutkimuksiin. Kehittämistutkimuksen luotettavuutta voidaan arvioida uskottavuuden, siirrettävyyden, varmuuden ja vahvistettavuuden avulla (Lincoln & Guba, 1985). Näihin päästään, kun kehittämistutkimus noudattaa sille määriteltyjä yleisiä laatuehtoja. Ensimmäisen laatuehdon mukaan kehittämistutkimuksella pitää saada sekä ohjaavia malleja ja teorioita että kuvailevia teorioita, jolloin kehittämistutkimus on kokonaisvaltaista. Toiseksi kehittämisen täytyy tapahtua sykleittäin sisältäen jatkuvaa kehitystä ja arviointia. Lisäksi kehittämisessä saatavien teorioiden on tarkoitus olla sellaisia, että ne ovat siirrettävissä todellisiin opetustilanteisiin, mikä edellyttää kehittämistuotoksen testaamista aidoissa opetustilanteissa. Luotettavuuden kannalta keskeistä on myös se, että kaikki kehittämissyklit dokumentoidaan tarkasti. (Design-Based Research Collective, 2003; Pernaa, 2013; Tuomi & Sarajärvi, 2009)

Kehittämistutkimuksen keskeisin vahvuus on mahdollisuus käyttää samanaikaisesti kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä, kuten tämän tutkielman kehittämistutkimuksessa tehdään. Kun laadulliset havainnot saavat tukea määrällisistä mittauksista, saadaan tutkittavasta ilmiöstä kokonaisvaltaisempi kuva. Näin tutkimuksen luotettavuus paranee tulosten konvergoituessa, jolloin puhutaan triangulaatiosta.

Triangulaatio on metodista, kun samaa aineistoa analysoidaan sekä kvalitatiivisilla että kvantitatiivisilla menetelmillä. Aineistoon kohdistuvaa triangulaatio on silloin, kun samaa asiaa tutkitaan erilaisilla menetelmillä. Kehittämistutkimuksen luotettavuutta parantavat myös syklien määrä ja standardoitujen mittarien käyttö. (R. Johnson & Onwuegbuzie, 2004; Pernaa, 2013; Tuomi & Sarajärvi, 2009)

Tämän kehittämistutkimuksen luotettavuutta parantaa useiden tutkimusmenetelmien käyttäminen. Teoreettinen ongelma-analyysi sisältää sekä narratiivista että integroivaa kirjallisuuskatsausta. Ensimmäinen empiirinen ongelma-analyysi sisältää kvantitatiivisen kyselyn käyttöä. Toisessa empiirisessä ongelma-analyysissä taas käytetään kvalitatiivista haastattelun sisältöanalyysiä. Kaikkien näiden tutkimusmenetelmien avulla pyritään mahdollisimman laadukkaaseen kehittämistuotokseen, joten voidaan puhua aineistoon kohdistuvasta triangulaatiosta. Kehittämistutkimus koostuu kahdesta syklistä, joiden vaiheet on dokumentoitu tarkasti tämän tutkielman tuleviin lukuihin ja liitteisiin. Kaksi sykliä on pieni määrä, mikä heikentää tutkimuksen luotettavuutta. Tämä kehittämistutkimus ei noudata kehittämistutkimukselle asetettuja laatuehtoja, koska kehittämistuotosta ei testata todellisissa opetustilanteissa. Tässä kehittämistutkimuksessa luotettavuutta heikentää erityisen paljon myös yksittäisten empiiristen tutkimusosuuksien pienet otoskoot. (Design-Based Research Collective, 2003; Hirsjärvi ym., 1997; R. Johnson & Onwuegbuzie, 2004; Pernaa, 2013; Tuomi & Sarajärvi, 2009; Valli, 2001)

3 Teoreettinen ongelma-analyysi

Tässä luvussa kuvaillaan ja integroidaan aikaisempaa teoriaa, joka on relevanttia kehittämisen kannalta. Alaluvun 3.1 alla käsitellään Maan ulkopuolisen elämän tieteellistä tutkimusta painottaen kemian näkökulmaa. Alaluvussa 3.2 kerrotaan kemian eheyttävän opetuksen teoreettisesta viitekehyksestä. Luvussa 3.3 integroidaan aiempia alalukuja ja käsitellään kemian eheyttävää opetusta juuri Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuksen kontekstissa. Luvussa 3.4 käsitellään verkkomateriaalin mahdollisuuksia oppimisympäristönä, ja luku 3.5 on yhteenveto teoreettisesta ongelma-analyysistä.

Tässä luvussa vastataan tutkimuskysymykseen:

- Millä tavalla Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin ja verkkomateriaalin opetukselliset mahdollisuudet ovat yhteydessä toisiinsa sekä eheyttävän opetuksen teoriaan ja perusopetuksen opetussuunnitelmaan?

3.1 Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tieteellinen tutkimus

Ajatus Maan ulkopuolisesta elämästä on tunnettu jo esihistorialliselta ajalta. Aihetta ovat todennäköisesti pohtineet lukuisat varhaiset luonnonfilosofit. Heidän pohdinnoistaan on säilynyt kuitenkin vain yksittäisiä katkelmia, joista monet ovat myöhempien kirjoittajien välittämiä. Antiikin aikana esimerkiksi joonialainen *Anaksagoras* (500–428 eaa.), abderalainen *Demokritos* (460–370 eaa.) ja pythagoralainen *Filolaos* (450–380 eaa.) esittivät näkemyksiä Maan ulkopuolisesta elämästä. (Dick, 1980, 1982; Montgomery, 1999)

Maan ulkopuolisen elämän esiintymisen pohdinta yleistyi voimakkaasti vasta 1600- ja 1700-lukujen vaihteessa. Tätä edelsi aurinkokeskeisen eli kopernikaanisen maailmankuvan vakiintuminen ja 1600-luvun alun muutamat tärkeät teokset, joissa Maan ulkopuolista elämää pohditaan. Tunnetuista tähtitieteilijöistä aihetta käsittelivät *Galileo Galilei* ja *Johannes Kepler*, jonka *Somnium*-teosta pidetään merkittävimpänä yksittäisenä julkaisuna aiheen popularisoitumisen kannalta. (Christianson, 1976; Dick, 1982; Galilei, 1967; Montgomery, 1999; Rosen, 1967)

Vaikka Maan ulkopuolinen elämä kiinnosti jo varhaisia luonnonfilosofeja ja tiedemiehiä, aiheen käsittelyä ei vielä tuolloin voinut pitää tieteellisenä, koska sen pohdinta oli lähinnä spekulaatiota. Vasta toisen maailmansodan jälkeen Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimus tieteenalaistui. Tämä mahdollistui, kun kylmän sodan aikana tehtiin suuria satsauksia avaruuden tutkimiseen, kuten luotainten lähettämisiä Maan ulkopuolelle. Myös perinteisten luonnontieteiden, kuten kemian, kehitys teki Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tieteellisestä tutkimuksesta mahdollista, koska ymmärrys elämästä mikroskooppisella ja submikroskooppisella tasolla kasvoi. (Billings, 2009)

Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia tutkivalle tieteenalalle on vakiintunut nimeksi astrobiologia. Muita käytettyjä nimiä ovat olleet bioastronomia, eksobiologia ja kosmobiologia (Brack, 2012). Astrobiologia hakee vastausta kysymykseen, esiintyykö elämää Maan ulkopuolella. Astrobiologian tutkimuskohteina ovat niin Aurinkokunta kuin myös toiset tähtisysteemit. Astrobiologia pyrkii löytämään sekä älyllistä että mikrobista elämää. Nykyisin esimeriksi *Committee on Space Research* (COSPAR) ja *International Council for Science* (ICSU) ovat tunnustaneet astrobiologian aseman tieteenalana. (Billings, 2009)

Astrobiologia soveltaa tutkimuksessaan useita perinteisiä luonnontieteitä, kuten kemiaa, fysiikkaa, biologiaa, tähtitiedettä ja geologiaa. Koska Maan ulkopuolisia eliöitä ei olla löydetty, astrobiologian tutkimus keskittyy pitkälti tarkastelemaan Maan ulkopuolisten ympäristöjen kemiallisten ja fysikaalisten olosuhteiden suotuisuutta elämälle. Olosuhteita

verrataan Maan ekstremofiilien eli ääriolosuhteissa elävien lajien elinympäristöihin, jolloin tutkimuksessa hyödynnetään sitä kautta myös biologian tietoja. Maan ulkopuolisten kohteiden tutkimus taas perustuu pitkälti tähtitieteen tutkimusmenetelmiin ja -instrumentteihin. Maan elämä on riippuvainen monista geologisista kierroista, joten geologia on sitä kautta tärkeää myös astrobiologian tutkimuksessa. Lisäksi Maan ulkopuolisen elämän esiintymistä pidetään mahdollisena eräiden Aurinkokunnan kohteiden kuorten alla, joiden tutkimus tapahtuu geologisilla menetelmillä. Geologian avulla voidaan tutkia myös Maahan saapuneita meteoriitteja ja etsiä niistä esimerkiksi viitteitä Maan ulkopuolisesta elämästä. (Cockell, 2002; Des Marais ym., 2008)

3.1.1 Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuudet Aurinkokunnassa

Aurinkokunnalla tarkoitetaan Linnunrata-galaksin Orionin haarassa sijaitsevaa tähtisysteemiä, joka koostuu yhdestä keskustähdestä, Auringosta, ja sitä kiertävistä taivaankappaleista eli planeetoista, kääpiöplaneetoista, pienkappaleista ja kuista. Aurinkokunnassa on kahdeksan planeettaa, jotka ovat kiertoradan säteen kasvavassa järjestyksessä Merkurius, Venus, Maa, Mars, Jupiter, Saturnus, Uranus ja Neptunus. Kääpiöplaneetat ovat planeettojen tavoin likimain pallomaisia, ensisijaisesti Aurinkoa kiertäviä taivaankappaleita, jotka eivät kuitenkaan pienen kokonsa vuoksi ole onnistuneet siivoamaan muita taivaankappaleita kiertoratansa läheisyydestä. Kääpiöplaneettoja ovat tämänhetkisen määritelmän mukaan Pluto, Ceres, Eris, Haumea ja Makemake. Aurinkokunnan pienkappaleet taas ovat Aurinkoa ensisijaisesti kiertäviä taivaankappaleita, jotka eivät ole muodoltaan likimain pallomaisia. Kuut ovat Aurinkokunnan taivaankappaleita, jotka kiertävät ensisijaisesti Auringon sijasta jotakin muuta Aurinkokunnan taivaankappaletta eli planeettaa, kääpiöplaneettaa tai pienkappaletta. Sekä pienkappaleita että kuita on Aurinkokunnassa yli sata kappaletta. (Wilkinson, 2016)

Aurinkokunta on elämälle suotuisa tähtisysteemi. Sen todistaa elämä Maassa. Aurinko on sopivan kokoinen ja riittävän pitkäikäinen, jotta sen ympärille voi syntyä elämää. Liian pienillä tähdillä lämpötilan kannalta elämälle suotuisa vyöhyke sijaitsee niin lähellä tähteä,

että sillä kiertävä taivaankappale vuorovesilukittuu eli näyttää aina saman puolen tähdelle. Tällaisessa tilanteessa elämä ei ole mahdollista nykyteorian mukaan. Liian suurissa tähdissä taas tapahtuu kiivaita ydinreaktioprosesseja, jotka tuhoaisivat niiden ympärillä olevan elämän. Lisäksi suuret tähdet ovat lyhytikäisempiä, jolloin elämää ei välttämättä ehdi syntyä niiden ympärille. Suurin osa universumin tähtisysteemeistä koostuu kahdesta tai useammasta keskustähdestä. Tällaisia tähtisysteemejä ei pidetä elämälle suotuisina, koska niitä kiertävillä taivaankappaleilla lämpötilan vuodenaikaisvaihtelut ovat liian suuria. Aurinkokunnan sijainti on sopiva elämälle, koska Aurinkokunta sijaitsee sopivalla etäisyydellä Linnunradan keskuksesta, jossa tapahtuu paljon elämälle tuhoisia prosesseja, kuten supernovia. Toisaalta tunnettu elämä käyttää alkuaineita, joita syntyy vain supernovissa. Siten supernovat saattavat olla edellytys elämälle, minkä vuoksi elämää ei mahdollisesti voi syntyä myöskään liian kaukana galaksin keskuksesta. (Cockell, 2015; Hanslmeier, 2013; Schoepp-Cothenet ym., 2012)

Maa on Aurinkokunnan ainoa astronominen kohde, jossa tiedetään esiintyvän elämää. Maa sijaitsee sellaisella etäisyydellä Auringosta, että vesi voi esiintyä nesteenä planeetan pinnalla. Lisäksi Maa on sopivan kokoinen elämälle ja hyvin suojassa asteroidien ja komeettojen törmäyksiltä, koska Jupiterin gravitaatio vetää pienkappaleita poispäin Maasta. Maalla on voimakas magneettikenttä, joka suojaa sitä Auringon hiukkassäteilyltä. Maan pyöriminen akselinsa ympäri on sopivan nopeaa, jolloin yön ja päivän vaihtelut ovat elämän kannalta sopivan pituisia. Maalla on kaasukehä, joka varastoi lämpöä ja estää siten lämpötilan liian suuret vaihtelut päivän ja yön välillä. Maan kiertorata on muodoltaan riittävän lähellä ympyrää, jolloin myös lämpötilan vuodenaikaisvaihtelut pysyvät elämän selviytymisen kannalta sopivan pieninä. Monia Maan geologisia kiertoja, kuten karbonaatti-silikaattikiertoa, pidetään elämälle välttämättömänä. (Cockell, 2015; Hanslmeier, 2013)

Kaikella Maan elämällä on nykykäsityksen mukaan yhteinen alkuperä. Pelkistetyllä kemiallisella tasolla Maan elämää voidaan kutsua DNA-molekyylien säätelemäksi molekyylien itseorganisoitumiseksi vesiliuoksessa. DNA ja muut keskeiset biomolekyylit ovat hiilirunkoisia polymeerejä. Elävät systeemit poikkeavat elottomista siten, että elävien systeemien monimutkaiset molekyylijärjestelmät pystyvät säätelemään itse reaktionsa ja

ylläpitämään systeemiä. Elottomien systeemien reaktioita taas säätelee täysin ympäristö, jonka vaikutuksesta elottomien systeemien reaktiot tapahtuvat kohti termodynaamista tasapainotilaa. Elävät systeemit ovat kuitenkin avoimia eli kykeneviä vaihtamaan ympäristönsä kanssa sekä ainetta että energiaa. Myös universaalisti elämä määritellään molekyylien itseorganisoimaksi kemiaksi liuosfaasissa ja elävät systeemit avoimiksi. Muualla maailmankaikkeudessa biomolekyylit ja elämän käyttämä liuotin voivat kuitenkin olla eri aineita. (Benner, Ricardo, & Carrigan, 2004; Cockell, 2015; Hanslmeier, 2013)

Yksikään muu Aurinkokunnan taivaankappale ei vastaa kemiallisilta ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan Maata. Kuitenkin elämää esiintyy Maassa hyvin moninaisissa ympäristöissä. Sitä on löydetty kilometrien syvyydestä maankuoresta ja kymmenien kilometrien korkeudesta ilmakehästä (Burrows, Elbert, Lawrence, & Pöschl, 2009). Sitä esiintyy ympäristöissä, joissa on esimerkiksi yli tuhannen ilmakehän paine, yli 100 ℃ lämpötila, pH-arvo nolla tai yli kaksitoista, hyvin korkea suola- tai raskasmetallipitoisuus taikka korkea ionisovan säteilyn määrä. Ääriolosuhteissa eläviä organismeja kutsutaan ekstremofiileiksi. (Gabani & Singh, 2013; Hanslmeier, 2013; Rampelotto, 2013)

Koska elämää esiintyy Maassa niin monenlaisissa ympäristöissä, voidaan pitää mahdollisena, että Aurinkokunnassa on Maan lisäksi muitakin kohteita, joissa elämää voi esiintyä (Rothschild, 2007). Aurinkokunnan kohteista Maan ulkopuoliselle elämälle mahdollisina pidetään Venusta, Marsia, Europaa, Ioa, Kallistoa, Ganymedesta, Enceladusta, Titania ja Tritonia. Näistä Venus ja Mars ovat planeettoja. Europa, Io, Kallisto ja Ganymedes ovat Jupiterin kuita. Enceladus ja Titan ovat Saturnuksen kuita. Triton on Neptunuksen kuu. (Limaye ym., 2018; Mann, 2017; Schulze-Makuch, 2010; Vago & Westall, 2017; Wilkinson, 2016)

Maan lähimmässä naapuriplaneetassa Venuksessa elämälle mahdollisena paikkana pidetään planeetan pysyvää, paksua ja yhtenäistä pilvikerrosta. Pilvikerroksen muodostuminen on osa Venuksen kaasukehän monimutkaista rikkiyhdisteiden kemiaa (esim. Zhang, Liang, Mills, Belyaev, & Yung, 2012). Venuksen pilvipisarat on ainoa Maan ulkopuolinen planetaarinen kohde, jossa on havaittu nestemäistä vettä. Lisäksi Venuksen

pilvikerroksesta on havaittu kaikkia alkuaineita, jotka ovat välttämättömiä kaikille Maan eliöille. Näistä alkuaineista suurin osa on havaittu Venuksen pilvikerroksessa sellaisissa yhdistemuodoissa, joista Maan eliöt voivat sitoa ne käyttöönsä. Venuksen pilvissä on myös havaittu muitakin Maan elämän käyttämiä alkuaineita, jotka eivät kuitenkaan ole välttämättömiä kaikille eliöille. Kuitenkin metallien pieni pitoisuus Venuksen pilvissä voi olla yksi este elämän esiintymiselle siellä. Kaikki tunnetut eliöt tarvitsevat metallikationeja. Elämän on ehdotettu saavan Venuksen pilvissä energiaa joko fotosynteesillä tai kemosynteesillä. Fotosynteesissä energia sidotaan säteilystä ja kemosynteesissä epäorgaanisten yhdisteiden eksotermisista reaktioista. Venuksen pilvissä on havaittu sekä morfologisia että metabolisia merkkejä elämästä. Näihin käsitteisiin palataan luvussa 3.1.2.3. Venuksen pilvipisaroiden pääkomponentti on rikkihappo, jota on yli 80 % niiden koostumuksesta. Suuri happopitoisuus ja alhainen veden aktiivisuus katsotaan tekijöiksi, jotka pienentävät elämän esiintymismahdollisuuksia Venuksen pilvissä. On tosin esitetty vahvasti kiistanalaisia teorioita niin kutsutuista vaihtoehtoisista biokemioista, joiden mukaan Venuksen pilvissä elämä voisi käyttää veden sijasta liuottimena rikkihappoa tai veden ja rikkihapon seosta. Rikkihappopitoisuuden lisäksi suuri ionisoivan säteilyn määrä pienentää elämän esiintymismahdollisuuksia Venuksen pilvissä. (Benner ym., 2004; Cockell, 1999; Dartnell ym., 2015; Gottschalk, 2012; Grinspoon & Bullock, 2007; Limaye ym., 2018; Schulze-Makuch, Grinspoon, Abbas, Irwin, & Bullock, 2004; Schulze-Makuch & Irwin, 2002; Williams, 2016)

Maan toisessa naapuriplaneetassa Marsissa elämälle mahdollisena ympäristönä pidetään onkaloita planeetan kuoren sisässä. Marsin pinnan alla on havaittu vesijäätä ja mahdollisesti myös nestemäistä vettä (K. Smith, 2018; Stuurman ym., 2016). Marsin kuoren eli marsperän kemiallinen koostumus mahdollistaa elämän ja lukuisat erilaiset kemosynteesit. Marsista on Venuksen tavoin havaittu elämään viittaavia merkkejä, jotka liittyvät orgaanisiin yhdisteisiin ja mahdollisiin metaboliareaktiotuotteisiin (Freissinet ym., 2015; Houtkooper & Schulze-Makuch, 2007; Krasnopolsky, Maillard, & Owen, 2004). On ehdotettu, että Marsin elämä perustuisi vaihtoehtoiseen biokemiaan, jossa veden ja vetyperoksidin seos toimisi biologisena liuottimena (Schulze-Makuch, Turse, Houtkooper, & McKay, 2008). Niin kutsutun panspermia-teorian mukaan elämä olisi syntynyt Marsissa, Maassa tai Venuksessa ja levittäytynyt asteroidi-impaktien välityksellä näiden planeettojen välillä, jolloin mahdollisella elämällä Marsissa ja/tai Venuksen pilvissä olisi yhteinen

alkuperä Maan elämän kanssa. Vaihtoehtoisten biokemioiden tavoin panspermiaakin pidetään hyvin kiistanalaisena teoriana. (Kirschvink & Weiss, 2002; Vago & Westall, 2017; Westall ym., 2015; Wickramasinghe & Wickramasinghe, 2008)

Maan ulkopuoliselle elämälle potentiaalisista kuista tiedetään huomattavasti vähemmän kuin Maan naapuriplaneetoista. Europan, Kalliston, Ganymedeksen, Enceladuksen, Titanin ja Tritonin kuoret koostuvat jäistä eli kiinteistä molekyyliyhdisteistä. Niitä kutsutaankin jäisiksi kuiksi. Niiden jääkuorten koostumuksesta osa on vesijäätä. Oletetaan, että niillä kaikilla on kuoren alla nestemäisestä vedestä koostuva kerros, jossa elämää voisi esiintyä. Varmimmin nestemäistä vettä esiintyy Europan ja Enceladuksen pintojen alla, sillä vesihöyryä purkautuu niiden pintojen raoista (Hansen ym., 2017; Jia, Kivelson, Khurana, & Kurth, 2018). Lisäksi Enceladuksella on havaittu orgaanisia molekyylejä, joita voidaan pitää merkkeinä elämästä (Porco, Dones, & Mitchell, 2017). Titanin jääpinnalla on nestemäisistä hiilivedyistä, lähinnä metaanista ja etaanista, koostuvia ”järviä”. Näitä on ehdotettu paikoiksi, joissa esiintyy eliöitä vaihtoehtoisella biokemialla, jossa metaanin ja etaanin seos toimii biologisena liuottimena. Iolla ei ole edellisistä kuista poiketen jääkuorta. Sen kuori koostuu kiviplaneettojen tavoin lähinnä silikaattimineraaleista. Senkin pinnalla on kuitenkin havaittu vesijäätä. Iossa elämän on ehdotettu perustuvan vaihtoehtoiseen biokemiaan, jossa biologisena liuottimena toimisi rikkivety, rikkidioksidi, rikkihappo tai niiden seokset veden kanssa, koska edellä mainittuja yhdisteitä esiintyy Ion pinnalla nestemäisenä. Ne ovat lähtöisin Ion tulivuoritoiminnasta, joka on koko Aurinkokunnan voimakkainta. Myös ammoniakkia on ehdotettu vaihtoehtoiseksi bioliuottimeksi astrobiologian kannalta kiinnostavilla kuilla. (Benner ym., 2004; Gaidos, Nealso, & Kirschvink, 1999; Lopes, 2014; Mann, 2017; McKay & Smith, 2005; Naganuma & Sekine, 2010; Norman, 2011; Schulze-Makuch, 2010)

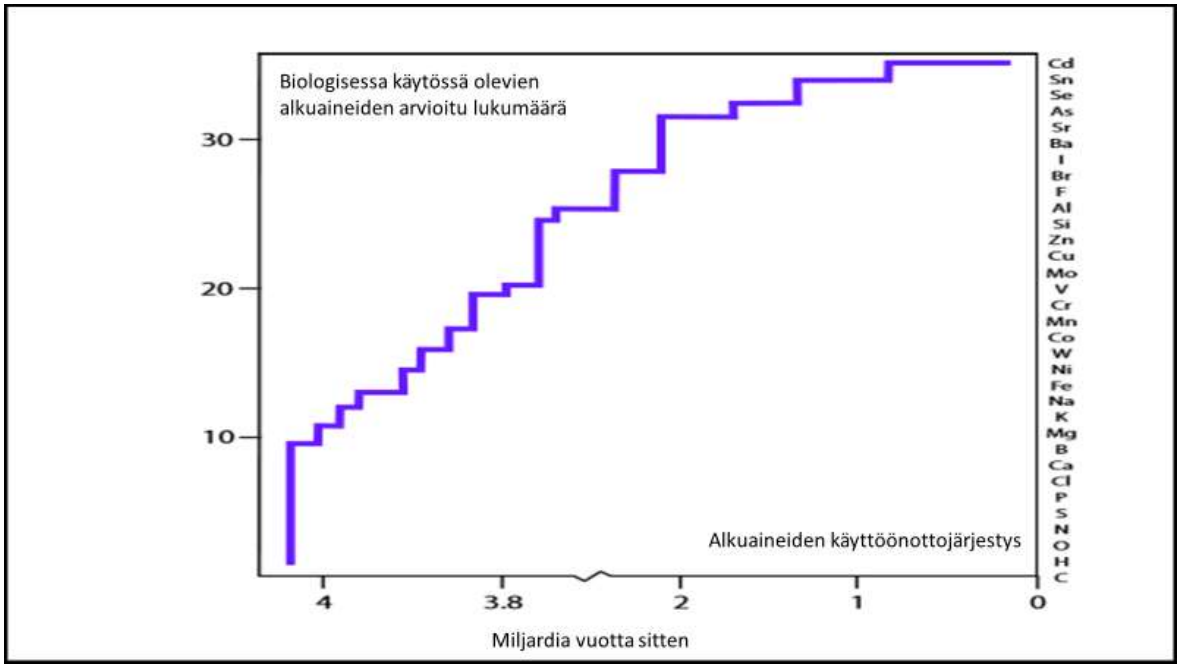
3.1.2 Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimus kemian näkökulmasta

Elämä on aineellinen prosessi, joten kemian näkökulmaa on mahdoton sivuuttaa sen tutkimuksessa. Astrobiologiassa kemian avulla pyritään ymmärtämään elämää mahdollisimman pelkistetyllä kemiallisella tasolla. Tällöin voidaan pitää yllä mahdollisuutta, että elämä on kemialliselta koostumukseltaan ja kemiallisilta prosesseiltaan erilaista Maan ulkopuolella eli perustuu niin sanottuihin vaihtoehtoisiin biokemioihin. Tältä pohjalta elämälle on pyritty löytämään universaaleja määritelmiä. Elämän voidaankin katsoa olevan monimutkaisten molekyylijärjestelmien itseorganisomaa kemiaa liuotinfaasissa. Elämän aineellisia edellytyksiä tarkastellaan luvussa 3.1.2.1. Astrokemian avulla voidaan havaita elämään viittaavia merkkejä avaruudesta. Kemialliset merkit elämästä ovat joko mahdollisia Maan ulkopuolisia biomolekyylejä tai eliöiden metaboliareaktioiden tuotteita. Elämään viittaavien merkkien tutkimusta käsitellään luvussa 3.1.2.2. Edellä mainittujen lisäksi kemiaa tarvitaan astrobiologiassa myös elämän synnyn ymmärtämiseen. Elämän synty on monimutkainen kemiallinen prosessi, jonka ymmärtäminen auttaa Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuksessa. Tässä tutkielmassa elämän synnyn kemia on kuitenkin rajattu pois, koska sen rooli tulevassa kehittämistuotoksessa jää vähäiseksi. (esim. Benner ym., 2004; Cockell, 1999; Lineweawer & Chopra, 2012; Summons, Albrecht, McDonald, & Moldowan, 2008)

3.1.2.1 Elämän aineelliset edellytykset ja niiden synty

Elämän aineellisten edellytysten tarkastelu voidaan aloittaa alkuainetasolta. Kaikille tunnetuille eliöille välttämättömiä alkuaineita ovat hiili, vety, happi, typpi, rikki ja fosfori. Tosin kaikki tunnetut eliöt tarvitsevat muitakin alkuaineita, jotka kuitenkin vaihtelevat eliölajikohtaisesti. Ei myöskään ole täysin varmaa tietoa, mitkä alkuaineet olivat välttämättömiä Maan elämän syntyvaiheessa. Chopran ja muiden (2009) mukaan ne olivat edellä mainittujen lisäksi boori, kloori ja kalsium. Kaikki tunnetut eliöt tarvitsevat joitakin metallikationeja esimerkiksi biomolekyylien rakenteen stabiloimiseen. Maan elämän

käytössä ovat alkuaineista edellisten yhdeksän lisäksi fluori, natrium, magnesium, alumiini, pii, kalium, vanadiini, kromi, mangaani, rauta, koboltti, nikkeli, kupari, sinkki, arseeni, seleeni, bromi, strontium, molybdeeni, kadmium, tina, jodi, barium ja volframi. Chopran ja muiden (2009) teoria alkuaineiden biologisesta käyttöönottojärjestyksestä on esitetty kuvassa 2. (Chopra ym., 2009; Cockell, 2015)



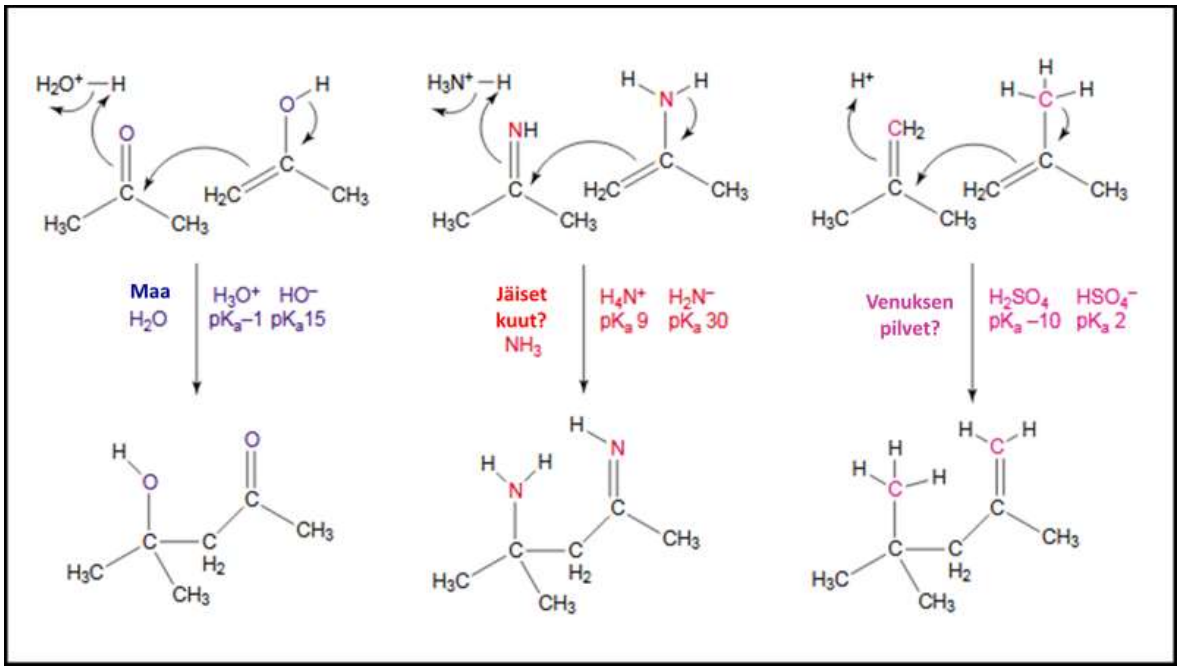
Kuva 2: Alkuaineiden biologinen käyttöönottojärjestys Maassa. Muokattu lähteen kuvasta (Chopra ym., 2009)

Maan elämän käyttämistä alkuaineista kaikki kasvavalta järjestysluvultaan rautaan asti ovat syntyneet Auringon fuusioreaktioissa. Rautaa raskaampia alkuaineita syntyy vain supernovissa. Joissakin teorioissa on esitetty joidenkin rautaa raskaampien alkuaineiden, kuten molybdeenin, olleen välttämättömiä elämän synnylle Maassa (esim. Schoepp-Cothenet ym., 2012). Sen vuoksi on mahdollista, että supernovat ovat elämän edellytys. Kaikille tunnetuille eliöille välttämättömät alkuaineet ovat heliumin ohella universumin yleisimpiä alkuaineita. Helium ja muut jalokaasut eivät kuitenkaan ole biologisessa käytössä, koska ne eivät muodosta kovin helposti yhdisteitä. (Cockell, 2015)

Hiiltä voidaan pitää tärkeimpänä alkuaineena biomolekyyleissä, koska se muodostaa niiden rungon. Melko yleisesti ajatellaan, että hiili on ainoa mahdollinen alkuaine, joka voi toimia biomolekyylien runkoalkuaineena. Hiili pystyy muodostamaan neljä kovalenttista sidosta. Hiiliatomit voivat muodostaa suoria ja haarautuneita ketjuja sekä rengasrakenteita. Biomolekyylien on oltava riittävän monimutkaisia, jotta elämäksi kutsuttu systeemi on mahdollinen. Tieteellisissä julkaisuissa ainoana potentiaalisena vaihtoehtona hiilelle on pidetty piitä. Pii ei kuitenkaan voisi toimia hiilen asemassa vesiliuoksessa. (Bains, 2004; Cockell, 2015)

Biomolekyylien runkoalkuaineen lisäksi toinen merkittävä kysymys on, mitä aineita Maan ulkopuolinen elämä voisi käyttää liuottimena. Vesi on hyvin yleinen yhdiste avaruuden molekyylipilvissä, joten sitä voidaan pitää todennäköisenä liuottimena myös Maan ulkopuolisessa elämässä. Vaihtoehtoisiksi bioliuottimiksi on ehdotettu sekä poolisia että poolittomia aineita. Näistä osa esitettiin jo luvussa 3.1.1. Niiden lisäksi varteenotettavana vaihtoehtona pidetään esimerkiksi vetyfluoridia. Titanin ”hiilivetyjärviä” kylmemmissä ympäristöissä voisi eräiden teorioiden mukaan elämän liuottimena toimia nestemäinen typpi tai vety. (Bains, 2004; Benner ym., 2004; Cockell, 2015)

Rikkihappoon ja ammoniakkiin liittyen on esitetty hypoteettinen teoria, millaisilla mekanismeilla biomolekyylien sigma-sidokset hiiliatomien välille lähtisivät muodostumaan näissä vaihtoehtoisissa bioliuottimissa. Nämä mekanismit on esitetty kuvassa 3. Tulevaisuudessa on ehkä mahdollista testata laboratorio-olosuhteissa, ovatko vaihtoehtoiset biokemiat mahdollisia vai mahdottomia. Tämä tapahtuisi luomalla niihin perustuvaa keinoelämää. Keinoelämällä tarkoitetaan ihmisen luomia kemiallisia systeemejä, jotka toimivat kuin eliöt molekyylien itseorganisoitumisella. Nykyisin keinoelämää on luotu vain vesiliuokseen. Luotu keinoelämä on myös ollut huomattavasti yksinkertaisempaa kuin todellinen elämä. Marsin vaihtoehtoiseksi bioliuottimeksi ehdotettua veden ja vetyperoksidin seosta on tutkittu laboratoriossa. Tutkimuksissa tarkasteltiin seoksen stabiilisuutta liuottamalla siihen sellaisia yhdisteitä, jotka voisivat stabilisoida sitä Marsin hypoteettisessa elämässä. Lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin orgaanisten makromolekyylien stabiilisuutta tässä seoksessa. Tulokset olivat sellaisia, ettei hypoteesia voida kumota. (Benner ym., 2004; Schulze-Makuch ym., 2008)



Kuva 3: Hypoteesi hiilirunkoisten biomolekyylien rakentumisesta ammoniakki- ja rikkihappoliuoksessa Maan ulkopuolisissa kohteissa. Muokattu lähteen kuvasta (Benner ym., 2004)

Schulze-Makuch ja Irwin (2008) esittävät kuusi syytä, joiden vuoksi elämä tarvitsee nestemäisen liuottimen. Tosin he pitävät myös mahdollisena, että biologisena liuottimena voisi toimia ylikriittinen fluidi, koska sillä on samoja ominaisuuksia kuin aineen nestemäisellä olomuodolla. Syyt, joiden vuoksi elämä tarvitsee nestemäisen liuottimen, ovat:

1. Liuotin tarjoaa ympäristön, joka stabiloi joitakin kemiallisia sidoksia, jolloin se ylläpitää biopolymeerien rakennetta.
2. Liuotin edistää joidenkin kemiallisten sidosten katkeamista eli edesauttaa kemiallisia reaktioita, joiden avulla aine ja energia voi vaihtua elävän systeemin ja ympäristön välillä.
3. Liuottimella on kyky liuottaa monia aineita/molekyylien osia ja olla liuottamatta toisia, jolloin saadaan aikaiseksi rajapintoja (esim. solukalvo) ja stereokemiallista stabiilisuutta.
4. Liuotin pystyy pitämään biokemiallisten reagenssien pitoisuudet kriittisinä biokemian tapahtumisen kannalta, kun se estää sopivasti aineiden leviämistä.

5. Liuotin toimii väliaineena, joka antaa ylä- ja alarajat paineille ja lämpötiloille, joissa biokemialliset reaktiot tapahtuvat. Näin metabolisten reittien kehitys pysyy kapealla alueella, jolloin kaikki metaboliset reaktiot tapahtuvat melko samoissa fysikaalisissa olosuhteissa.
6. Liuotin toimii puskurina ympäristöolosuhteissa tapahtuvaa vaihtelua vastaan. (Schulze-Makuch & Irwin, 2008)

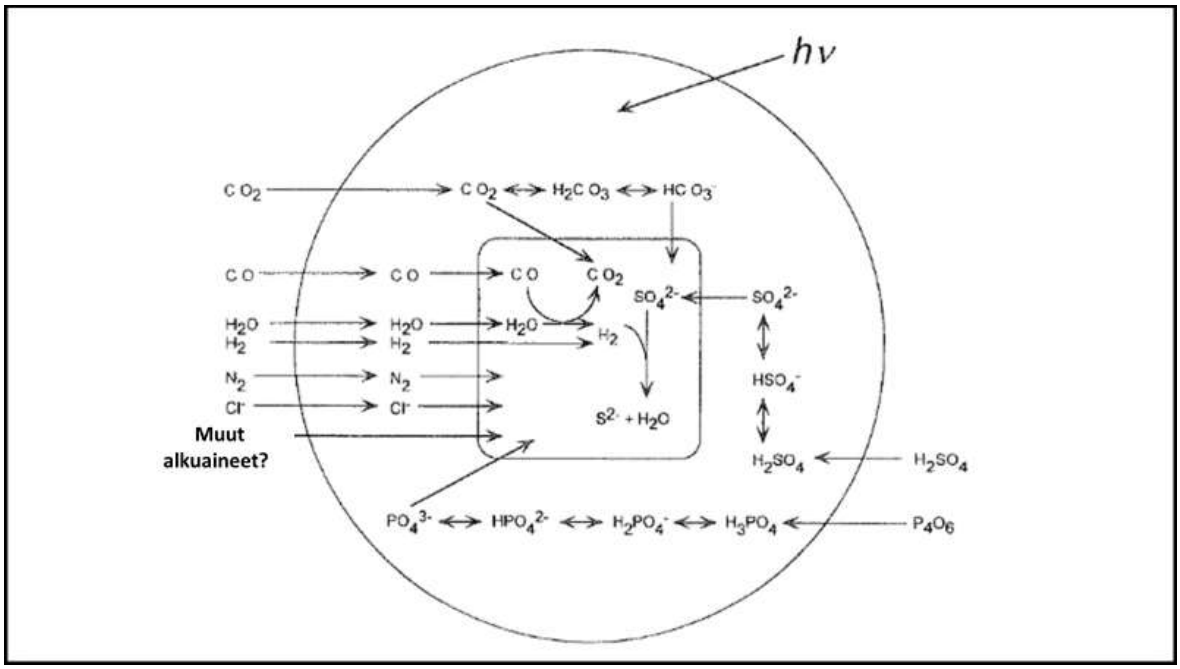
Yksinkertaisia molekyylejä syntyy tähtiä ympäröivissä vaipoissa, joista niitä vapautuu tähtien väliseen avaruuteen. Monimutkaisempia molekyylejä, kuten aminohappoja, muodostuu tähden syntyä edeltävässä molekyylipilvessä. Nykyisin avaruudesta on onnistuttu tunnistamaan vajaa 200 erilaista molekyyliä. Yleisin molekyyli avaruudessa on hiilimonoksidi. (Harju, 1998; Ridderstad, 2012)

3.1.2.2 Elämään viittaavat havainnot Maan ulkopuolella

Elämä jättää kemiallisena prosessina myös aineellisia merkkejä itsestään. Maassa ei ilman elämää esiintyisi läheskään yhtä paljoa orgaanisia yhdisteitä kuin siellä esiintyy elämän vuoksi. Maan ilmakehän happipitoisuus olisi myös selvästi pienempi, jos Maassa ei olisi yhteyttäviä eliöitä, joiden aineenvaihdunnasta vapautuu happikaasua. Maan aineellinen koostumus ei siis ole yhteydessä laskennallisiin malleihin, joissa Maan koostumuksesta on jätetty huomioimatta elämän vaikutus. Astrobiologiassa käytetään samaa periaatetta pyrkimällä havaitsemaan aineita, joiden pitoisuudet Maan ulkopuolisessa taivaankappaleessa poikkeavat kyseiselle taivaankappaleelle tehdyistä laskennallisista ennusteista. Näiden ennusteiden tekeminen edellyttää paljon tietoa kohteen fysikaalisesta kemiasta, jota astrokemia tieteenalana pyrkii tutkimaan. Maan ulkopuolista ainetta tutkitaan spektroskooppisilla menetelmillä. (Kaltenegger, 2012; Schulze-Makuch & Irwin, 2002; Summons ym., 2008)

Monimutkaisia orgaanisia yhdisteitä voidaan pitää merkkeinä elämästä, koska ne voivat olla Maan ulkopuolisten eliöiden biomolekyylejä. Toisaalta monimutkaisia orgaanisia molekyylejä muodostuu myös avaruudessa ja taivaankappaleissa ei-biologisesti, joten niitä ei voida yksistään pitää varmoina merkkeinä elämästä. Maan ulkopuolisista orgaanisista molekyyleistä voidaan tutkia esimerkiksi enantiomeeriselektiivisyyttä. Enantiomeeriselektiivisyyttä pidetään merkkinä elämästä, koska Maan elämä käyttää aminohapoista vain toista enantiomeeria. Monimutkaisia orgaanisia molekyylejä on havaittu Marsissa ja Enceladuksella. Marsissa on havaittu esimerkiksi klooribentseeniä ja Enceladuksella amiineja ja aromaattisia hiilivetyjä. Lisäksi monimutkaisia orgaanisia molekyylejä on havaittu komeetoilla ja avaruuden molekyylipilvissä. Suuria orgaanisia molekyylejä kutsutaan orgaanisiksi merkeiksi elämästä. (Freissinet ym., 2015; Porco ym., 2017; Summons ym., 2008; Westall ym., 2015)

Orgaanisten molekyylien lisäksi Maan ulkopuolisissa taivaankappaleissa voidaan havaita myös metabolisia eli aineenvaihdunnallisia merkkejä elämästä. Ne ovat tyypillisesti taivaankappaleen kaasukehän kaasuja, joita esiintyy joko laskennallisia ennusteita enemmän tai vähemmän. Venuksen kaasukehässä on havaittu laskennallisia ennusteita vähemmän hiilidioksidia, happea ja vetyä ja laskennallisia ennusteita enemmän rikkivetyä. Hiilidioksidin, hapen ja vedyn laskennallisia ennusteita pienempiä seososuuksia on selitetty ennusteiden virheellisyydellä, kuten klooriyhdisteiden vaikutuksen puutteellisella huomioinnilla niissä. Rikkivedyn laskennallisia ennusteita suurempaa määrää taas on selitetty sekä ennusteiden että havainnoinnin virheillä. Biologisina selityksinä Venuksen kaasukehän metabolisille merkeille elämästä on esitetty esimerkiksi sulfaattihengitys, josta on esitetty kaavio kuvassa 4. Kuvan 4 kaaviossa muodostuva sulfidi-ioni (S^{2-}) muodostaa Venuksen pilvien happamissa olosuhteissa rikkivetyä. (Cockell, 1999) Marsin kaasukehän metaanin laskennallisia ennusteita suuremmalle pitoisuudelle pidetään jopa todennäköisimpänä selityksenä elämää. Myös Marsin kaasukehässä laskennallisia ennusteita enemmän havaittua vetyperoksidia on pidetty metabolisena merkkinä elämästä. (Houtkooper & Schulze-Makuch, 2007; Kaltenegger, 2012; Krasnopolsky ym., 2004; Schulze-Makuch & Irwin, 2002; Seager, Schrenk, & Bains, 2012)



Kuva 4: Kaavio hypoteettisen sulfaattihengittävän eliön ravinteiden otosta ja energiantuotannosta Venuksen pilvissä. Muokattu lähteen kuvasta (Cockell, 1999)

Venuksen kaasukehässä havaittua karbonyylisulfidia ja Europan ja Ganymedeksen kaasukehissä havaittua happea ei kuitenkaan pidetä metabolisina merkkeinä elämästä, vaikka ne olisivat sitä Maan olosuhteissa. Kyseisten taivaankappaleiden olosuhteissa niitä muodostuu ei-biologisissa prosesseissa. Metabolinen merkki elämästä voi olla myös sähkömagneettisen säteilyn selittämätöntä absorptiota, koska yhteyttävät eliöt absorboivat sähkömagneettista säteilyä ja muuttavat sen biomolekyylien kemialliseksi energiaksi. Tällaisia metabolisia merkkejä elämästä kutsutaan myös spektroskooppisiksi merkeiksi. Niitä on mahdollisesti havaittu Venuksen pilvissä, jossa tapahtuu toistaiseksi selittämätöntä UV-absorptiota noin 320 nm aallonpituudella. Havainnolle on kuitenkin esitetty myös useita ei-biologisia selityksiä, eikä tunnettu elämä pysty hyödyntämään kyseistä sähkömagneettisen säteilyn aallonpituutta yhteyttämisessä. (Limaye ym., 2018; Schulze-Makuch & Irwin, 2002; Shematovich & Johnson, 2001; Yung & McElroy, 1977; Zhang ym., 2012)

Kaikki elämään viittaavat merkit Maan ulkopuolella eivät ole kemiallisia. Niin kutsutuilla morfologisilla merkeillä tarkoitetaan rakenteita, jotka muistuttavat eliöitä tai niistä jääneitä jälkiä. Esimerkiksi Venuksen pilvissä on havaittu ei-pallomaisia objekteja, jotka ovat

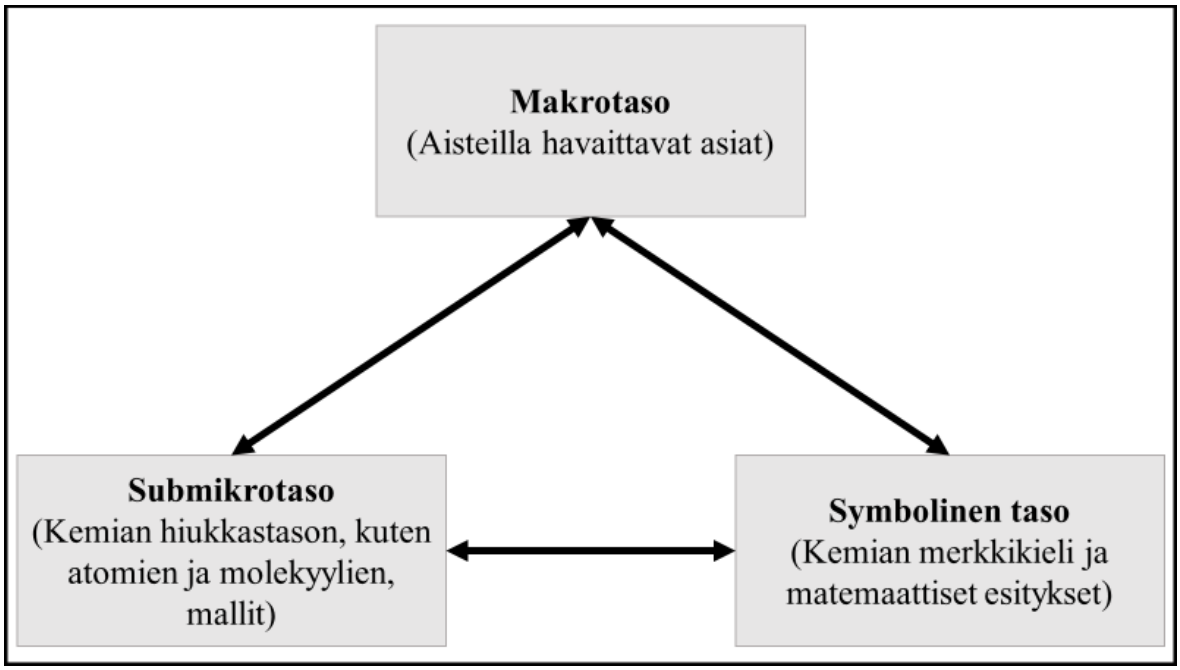
bakteerin kokoisia, ja joiden tarkkaa koostumusta ei ole pystytty tunnistamaan (Schulze-Makuch & Irwin, 2002). Älyllistä elämää etsitään Maan ulkopuolelta pyrkimällä havaitsemaan sähkömagneettisia pulsseja, jotka eivät ole samanlaisia kuin tähtien lähettämät. Näistä on välillä tehty havaintoja, joille on myöhemmin löytynyt jokin muu selitys kuin Maan ulkopuolinen sivilisaatio. (Cady, Framer, Grotzinger, Schop, & Steele, 2004; Tarter, 2004)

3.2 Kemian opetuksen eheyttäminen

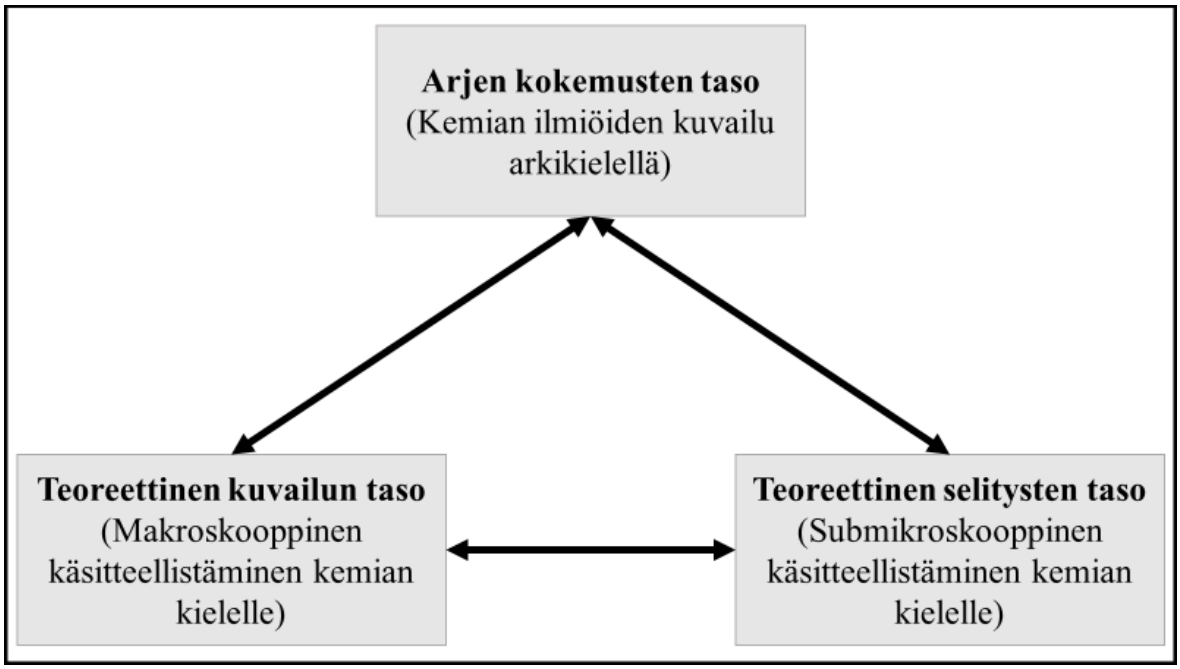
Opetuksen eheyttämisellä pyritään siihen, että opittava aines jäsentyy kokonaisuudeksi oppilaan tietorakenteessa, jolloin yksittäiset tiedot eivät jää irrallisiksi (Lahdes, 1977). Opetuksen eheyttäminen voi olla joko vertikaalista tai horisontaalista. Vertikaalinen eheyttäminen on yhden oppiaineen sisäistä. Horisontaalinen eheyttäminen taas on usean oppiaineen välistä. (Hellström, 2008)

Kemian vertikaalisella eheyttämisellä tarkoitetaan sitä, että kemian sisällöt opetetaan johdonmukaisena kokonaisuutena. Kemian sisäisen eheyden kannalta on tärkeää, että opetus lähtee liikkeelle havaittavista ja oppilaan kokemusmaailmalle tutuista asioista, jonka jälkeen samoja asioita voidaan käsitteellistää ja käsitellä abstraktimmilla tasoilla. Tämän toteutumisessa on tärkeää, että opetus kontekstualisoidaan eli sidotaan oppilaalle merkityksellisiin asioihin. Kontekstuaalisuudesta kemian opetuksessa kerrotaan luvussa 3.2.1. Vertikaaliseen eheyteen kuuluu oleellisesti opetuksen kumulatiivinen eteneminen eli uusien tietojen rakentuminen oppilaan aiempien tietojen pohjalle. Siten eheyttävä opetus noudattaa konstruktivistista oppimiskäsitystä, jossa uusi oppiaines rakentuu osaksi oppilaan aiempaa tieto- ja toimintakokonaisuutta eli skeemaa. Skeemat rakentuvat joko uuden oppiaineksen sulautumisella vanhaan skeemaan eli assimilaatiolla tai siten, että vanhan skeeman rinnalle tai tilalle muodostuu uusi skeema akkommodaatiolla eli eriytymisellä. (Herron, 1996; Lonka, 2015; Pruuki, 2008)

Kemian opetuksen on perinteisesti ajateltu perustuvan kolmeen kemian tasoon, jotka ovat makroskooppinen, submikroskooppinen ja symbolinen taso. Näitä tasoja kutsutaan kehittäjänsä mukaan Johnstonen (2000) tasoiksi. Nämä tasot on esitetty kuvassa 5. Tasoista konkreettisin on makroskooppinen ja abstraktein symbolinen taso. Taber (2013) on kritisoinut Johnstonen tasoja, koska symboliikkaa tarvitaan niissä kaikissa kielen muodossa. Hän on esittänyt oman kieleen perustuvan teoriansa kemian opetuksen tasoista, jotka ovat järjestyksessä konkreettisimmasta abstrakteimpaan arjen kokemusten taso, teoreettinen kuvailun taso ja teoreettinen selitysten taso. Nämä tasot on esitetty kuvassa 6. Kemian opetus on vertikaalisesti eheää, kun oppilas hahmottaa käsiteltävän asian kaikilla kemian tasoilla ja pystyy siirtymään ajattelussaan vaivattomasti tasolta toiselle samaa asiaa tarkasteltaessa. Oppilaan ennakkotiedot uudesta aiheesta ovat pääasiassa makroskooppisella tasolla (tai arjen kokemusten tasolla), joten vertikaalisesti eheä kemian opetus lähtee liikkeelle niistä. (Johnstone, 2000; Lin, Son, & Rudd II, 2016; Taber, 2013)



Kuva 5: Kemian tasot eli Johnstonen tasot (Johnstone, 2000)



Kuva 6: Taberin teoria kemian tasoista (Taber, 2013)

Usein puhuttaessa opetuksen eheyttämisestä tarkoitetaan horisontaalisesta eheyttämistä, jossa rikotaan perinteisiä oppiainerajoja ja muodostetaan monialaisia oppimiskokonaisuuksia, kuten perusopetuksen opetussuunnitelmassa asia ilmaistaan (Opetushallitus, 2016). Tosin monialaisuus ei aina takaa oppilaan kokonaisymmärrystä, joka taas on juuri eheyttämisen tavoite. Siten käsitteet horisontaalisesti eheyttävä opetus ja monialainen opetus eivät tarkoita täysin samaa asiaa. Oppiainerajoja ylittävän opetuksen on katsottu saaneen alkunsa John Deweyn ajatuksista koulusta pienoisyhteiskuntana (Dewey, 1957). Kansainvälisesti tunnetuimmista kasvatustieteilijöistä myös Vygotsky (1994) esitti samankaltaisia ajatuksia koulusta. Suomessa Salon (1937) määrittelemä käsite kokonaisopetus vastaa periaatteiltaan horisontaalisesti eheyttävän opetuksen määritelmää. Lahdes (1977) rinnasti 1970-luvulla käsitteen eheyttäminen oppiaineiden integraatioon. (Cantell, 2015; Kangas, Kopisto, & Krokfors, 2015)

Horisontaalisesti eheyttävä opetus voi olla joko ilmiö- tai tiedonalalähtöistä (Halinen & Jääskeläinen, 2015). Ilmiölähtöisessä eheyttämisessä opetuksen ja oppimisen lähtökohtana toimivat oppilaiden omakohtaiset havainnot, kokemukset ja niihin liittyvät kysymykset (Rauste-von Wright, von Wright, & Soini, 2003). Tavoitteena ilmiölähtöisessä eheyttämisessä on oppia oppiaineiden sisällöt, joiden avulla näitä lähtökohtana olevia niin

sanottuja ilmiöitä voidaan selittää. Hakkaraisen ja muiden (2005) mukaan ilmiölähtöisyydessä oppimiseen syntyy omakohtainen suhde, kun se lähtee liikkeelle omakohtaisista kokemuksista. Ilmiölähtöisellä eheyttämisellä tavoitellaan oppiaineiden sisältöjen oppimisen lisäksi monia tulevaisuudessa tärkeitä taitoja, kuten ongelmanratkaisua, vuorovaikutusta, tiedonhakua ja eettistä ymmärrystä. (Lonka ym., 2015)

Tiedonalalähtöisessä eheyttämisessä oppimisprosessin lähtökohtana ovat tiedonalojen tärkeimmät käsitteet ja prosessit, joiden ymmärtämisen kautta voidaan lähteä käsittelemään todellisen maailman monimutkaisia ja -alaisia ilmiöitä. Tavoitteena on siten ymmärtää koulun ulkopuolista maailmaa eri tiedonalojen näkökulmilla ja ajattelutavoilla. Tiedonalalähtöisessä eheyttämisessä opitaan käsitteiden lisäksi myös tiedonrakentumista eri tiedonaloilla. Tiedonalalähtöisyyttä perustellaan sillä, ettei todellisen maailman ilmiöiden tarkastelu ole mahdollista oppiainerajoja ylittävästi, jos oppilailla ei ole riittävästi ymmärrystä eri tiedonalojen peruskäsitteistä ja näkökulmista. (Juuti, Kairavuori, & Tani, 2015)

Gresnigt ja muut (2014) ovat määritelleet horisontaaliselle eheyttämiselle kuusi tasoa, jotka ovat jaettu oppiaineiden välisen rajapinnan näkyvyyden perusteella taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3. Eheyttämisen tasot (Gresnigt ym., 2014)

Eheyttämisen taso	Kuvaus
Erilliset	Perinteinen opetus oppiainerajoineen
Kytketty	Oppiaineilla yhteys vain valituissa aihepiireissä
Sisäkkäisyys	Yhden oppiaineen avulla rikastutetaan toista
Monitieteinen	Oppiaineet säilyttävät identiteettinsä, vaikka liittyvätkin yhteen teemaan
Tieteidenvälinen	Oppiaineiden yhdistävät seikat korostuvat, jolloin niiden erityisnäkökulmat vähenevät
Poikkitieteinen	Oppiaineet sulautuvat täysin yhteen, kun opetuskokonaisuus nousee niiden yläpuolelle

Halisen ja Jääskeläisen (2015) mukaan käytännön tasolla horisontaalista eheyttämistä voidaan toteuttaa kouluissa:

1. Rinnastamalla eli opiskelemalla samaa teemaa usean oppiaineen tunneilla samanaikaisesti
2. Jaksottamalla eli järjestämällä samaan teemaan liittyvät asiat opiskeltaviksi eri oppiaineissa peräkkäin
3. Teemapäivillä ja muilla vastaavilla oppiainejakoisesta koulunkäynnistä poikkeavilla tapahtumilla
4. Laajemmilla oppimiskokonaisuuksilla eri oppiaineiden välisellä yhteistyöllä
5. Ryhmittelemällä oppiaineita oppiainekokonaisuuksiksi
6. Kokonaisopetuksella poistamalla oppiainejako kokonaan

Oppiaineiden välistä eheyttämistä voidaan toteuttaa pienimuotoisesti yhden oppitunnin aikana tai pitkäaikaisemmin. Oppiaineiden määrä monialaisessa oppimiskokonaisuuksissa voi vaihdella kahdesta kaikkiin oppiaineisiin. Eheyttävään opetukseen sopivia työtapoja ovat esimerkiksi tutkiva oppiminen, projektioppiminen, ongelmalähtöinen oppiminen ja systemaattinen portfoliomenetelmän käyttö. Luvussa 3.2.2 tarkastellaan horisontaalista eheyttämistä ja sen mahdollisuuksia kemian opetuksessa. (Halinen & Jääskeläinen, 2015)

3.2.1 Kontekstuaalisuus kemian opetuksessa

Eheyttävä opetus on kontekstilähtöinen opetustapa. Kontekstuaalisessa opetuksessa opetettava aines sidotaan todellisen maailman ilmiöihin, jotka ovat tuttuja oppilaille koulun ulkopuolelta. Näitä todellisen maailman ilmiöitä voidaan usein tarkastella usean oppiaineen näkökulmasta, jolloin kontekstuaalisuus mahdollistaa myös opetuksen horisontaalisen eheyttämisen monialaisissa oppimiskokonaisuuksissa. Kontekstipohjaista kemian opetusta on ehdotettu ratkaisuksi erityisesti kemian kiinnostavuuden lisäämiseen. Kemian ja luonnontieteiden heikko kiinnostavuus on opetuksen keskeisiä haasteita Suomessa ja monissa muissa OECD-maissa (Tähkä, 2012). Kontekstuaalisesta opetusta alettiin peräänkuuluttamaan hallinnollisissa opetusraporteissa 1980-luvulla. (Aikenhead, 2006; Bennett ym., 2005; E. Johnson, 2002)

E. Johnson (2002) kuvailee kontekstipohjaisen opetuksen holistiseksi systeemiksi, joka perustuu käsitykseen, että oppilaat oppivat paremmin, kun he kokevat opittavat asiat merkityksellisiksi. Hänen mukaansa asioiden merkityksellisyys syntyy kontekstuaalisessa opetuksessa, kun opittavista asioista muodostuu oppilaiden tietorakenteissa yhteyksiä heidän omaan kokemusmaailmaansa. Hänen mukaansa kontekstipohjainen opetus sisältää kahdeksan tekijää, jotka ovat:

1. Merkityksellisten yhteyksien tekeminen
2. Merkittävän työn tekeminen
3. Itsesäädelty oppiminen
4. Yhteistoiminta
5. Kriittinen ja luova ajattelu
6. Yksilöllisyyden tukeminen
7. Opetuksen korkean laadun myötävaikuttaminen
8. Autenttisen arvioinnin käyttö

Kontekstuaalinen opetus nojaa vahvasti ihmisten keskinäisen riippuvuuden, erilaistamisen ja itsejärjestäytymisen periaatteisiin. Ihmisten keskinäiset riippuvuudet ilmenevät kontekstilähtöisessä opetuksessa, kun oppilaat tekevät yhteistyötä todellisen maailman

ongelmien ratkaisemiseksi. Myös opettajat tulevat kontekstuaalisessa opetuksessa riippuvaisiksi toisistaan, kun ympäristön ilmiöitä tarkastellaan monialaisesti useiden oppiaineiden näkökulmista. Kontekstipohjaisessa opetuksessa pyritään saamaan opetus mahdollisimman lähelle koulun ulkopuolista maailmaa, jolloin yhteistyötä muodostuu myös kouluyhteisön ja koulun ulkopuolisten tahojen välille. Erilaistamista ilmenee, kun kontekstipohjainen opetus haastaa oppilaat arvostamaan erilaisuutta, olemaan luovia, toimimaan yhdessä, luomaan uutta ja huomaamaan moninaisuuden arvokkuuden. Itsejärjestäytymistä syntyy, kun oppilaat löytävät omat kykynsä ja kiinnostuksen kohteensa, saavat palautetta todellisen maailman tilanteita vastaavissa oppimisympäristöissä, havainnoivat oppimistaan selkeiden päämäärien kautta ja tuntevat osallisuutta merkityksellisissä oppilaskeskeisissä työtavoissa. Glynn ja Winter (2004) mainitsevat tutkivan oppimisen, ongelmaperustaisen oppimisen ja projektioppimisen sopiviksi työtavoiksi kontekstipohjaiseen opiskeluun. (E. Johnson, 2002)

De Jong (2008) jakaa kemian opetuksen mahdolliset kontekstit neljään kategoriaan. Nämä ovat henkilökohtainen, sosiaalinen ja yhteiskunnallinen, ammatillinen sekä tieteellinen ja teknologinen. Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskonteksti sijoittuu näistä viimeisimpään, tieteelliseen ja teknologiseen.

Gilbertin (2006) mukaan opetuksessa käytettävät kontekstit tulee valita huomioiden seuraavia asioita:

1. Kontekstin on vähennettävä opittavien asioiden kuormittavuutta ja yksinkertaistettava niitä.
2. Kontekstien tulee yhdistyä oppilaan tietorakenteessa eheiksi kokonaisuuksiksi, jolloin ne eivät jää irrallisiksi.
3. Kontekstin tulee edistää kemian käsitteiden oppimista ja helpottaa niiden siirtämistä muihin konteksteihin.
4. Kontekstin on lisättävä kemian kokemista merkitykselliseksi ja edistettävä oppilaiden pätevyyden tunnetta kemian oppimisessa.
5. Kontekstin tulee osallistaa oppilaita opetukseen.

Opittavat asiat opitaan helpommin, kun ne yhdistyvät oppilaiden kokemusmaailmaan, minkä vuoksi kontekstin pitää liittyä oppilaiden kokemusmaailmaan. Kun käsitteitä ja muita opittavia asioita siirretään kontekstien välillä, puhutaan tiedon siirtovaikutuksesta (*transfer*). Oppilaiden kokemusmaailmalle merkittävät kontekstit voivat saada oppilaat tuntemaan myös kemian merkitykselliseksi. Pätevyyden tunne syntyy, kun oppilaat ratkovat kontekstipohjaisessa oppimisessa todellisen maailman ongelmia yhdessä, jolloin opetus on myös osallistavaa. (Gilbert, 2006)

Käsitys kontekstipohjaisen opetuksen oppilaiden ymmärrystä lisäävästä vaikutuksesta perustuu enemmän oppimisen teoriaan kuin empiiriseen näyttöön. Esimerkiksi Bennett, Hogarth ja Lubben (2005) havaitsivat 66 tutkimusta käsittäneessä meta-analyysissä, että kontekstipohjainen opetus parantaa oppilaiden asenteita luonnontieteitä kohtaan ja motivaatiota niiden opiskeluun muttei lisää luonnontieteiden ymmärrystä sen enempää kuin opetus ilman kontekstilähtöisyyttä. Tosin yksittäisissä tutkimuksissa on havaittu myös luonnontieteellisen ajattelun ja kemian ymmärryksen paranevan kontekstipohjaisella opetuksella verrattuna opetukseen ilman kontekstia (Bennett & Holman, 2002; Gutwill-Wise, 2001).

Opetuksessa käytettävä konteksti voi olla joko vapaa tai sidottu. Vapaalla kontekstilla tarkoitetaan oppilaiden valitsemaa opetuksen kontekstia. Sidottu konteksti taas on opettajan ennalta määräämä. Nykyinen opetussuunnitelma painottaa oppilaiden ottamista mukaan opetuksen suunnitteluun, minkä vuoksi vapaan kontekstin käyttö on perusteltua (Opetushallitus, 2016). Tosin usein opettajan on päätettävä konteksti, jotta pysytään opetussuunnitelman tavoitteissa ja opetettava aines pysyy paremmin opettajan kontrollissa. Konteksti voi olla myös osittain vapaa, jolloin oppilaat rajaavat lopullisen kontekstin laajemmasta opettajan antamasta kontekstista tai valitsevat kontekstin opettajan tarjoamista vaihtoehdoista. (Gilbert, 2006; Kujamäki, 2009)

3.2.2 Monialaiset oppimiskokonaisuudet kemiassa

Todellisen maailman ilmiöt liittyvät harvoin pelkästään kemiaan. Niiden syvällisessä ymmärtämisessä tarvitaan usein myös muiden tiedonalojen tietoja. Perusopetuksen opetussuunnitelman mukaan kemian opetuksen yksi tehtävä on vuosiluokilla 7–9 tukea kemiaan liittyvien ilmiöiden ymmärtämistä. Lisäksi opetussuunnitelman kemian sisältöalueet linkittävät kemiaa voimakkaasti monialaisiin konteksteihin, joita ovat elinympäristö, terveys, turvallisuus, hyvinvointi, teknologia, kestävä kehitys, työelämä, ajankohtaiset ilmiöt ja sovellukset, nykypäivän tutkimus sekä ravintoaineet. Konteksteja on tarkoitus valita ja rajata huomioiden oppilaiden tasa-arvoisuus ja yhdenvertaisuus. (Opetushallitus, 2016)

Kaikki kemian opetuksen tavoitteet vuosiluokille 7–9 yhdistyvät opetussuunnitelmassa laaja-alaisen osaamisen tavoitteisiin, jotka ovat yhteisiä kaikille oppiaineille. Kemian opetuksen tavoitteista yksi (T15) liittyy suoraan monialaisiin oppimiskokonaisuuksiin. Sen mukaan kemian opetuksen tavoitteena on: *”ohjata oppilasta soveltamaan kemian tietojaan ja taitojaan monialaisissa oppimiskokonaisuuksissa sekä tarjota mahdollisuuksia tutustua kemian soveltamiseen erilaisissa tilanteissa kuten luonnossa, elinkeinoelämässä, järjestöissä tai tiedeyhteisöissä”.* (Opetushallitus, 2016)

Kemian opetuksen integroimista on tehty sekä toisiin luonnontieteisiin että muihin oppiaineisiin. Usein kemian opetuksen eheyttämisessä on vahvasti mukana niin sanottu STSE-ajattelu. Sen mukaan kemiaa pitäisi tarkastella tasaisesti tieteen, teknologian, yhteiskunnan ja ympäristön näkökulmista. Kemian eheyttämisellä on todettu olevan positiivisia vaikutuksia oppimiseen riippumatta siitä, eheytetäänkö kemiaa toisten luonnontieteiden vai muiden oppiaineiden, kuten kielten, matematiikan, historian tai taito- ja taideaineiden, kanssa. (Aikenhead, 2006; Kariuki & Hopkins, 2010; Paiva, Morais, & Moreira, 2013; Venville, Wallace, Rennie, & Malone, 2002).

3.3 Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimus kemian eheyttävässä opetuksessa

Maan ulkopuolisen elämän tieteellinen tutkimus soveltaa monia perinteisiä luonnontieteitä. Koulussa opetettavista luonnontieteistä Maan ulkopuolisen elämän tutkimukseen liittyvät kemian lisäksi voimakkaasti fysiikka ja biologia. Astrobiologia on luonnontiedettä. Sillä on kuitenkin vahva sidos ihmisten kulttuuriin, koska Maan ulkopuolinen elämä on hyvin yleinen aihe esimerkiksi massatiedotusvälineissä ja scifi-viihteessä. Lisäksi astrobiologian historia tieteenalana on ollut vahvasti yhteydessä koulun historian opetuksen sisältöihin kuuluvaan kylmään sotaan. Näin astrobiologian avulla voidaan mahdollisesti eheyttää kemian opetusta sekä muiden luonnontieteiden että kulttuuriin ja yhteiskuntaan voimakkaammin sidonnaisten oppiaineiden, kuten äidinkielen ja historian, kanssa. Oliveira ja Barufaldi (2009) ovat suunnitelleet tieteen kulttuurisidonnaisuutta havainnollistavan astrobiologian kurssin, jossa scifi ja historia ovat kurssilla tarkasteltavia teemoja. Kulttuurisidonnaisuus voi tuoda astrobiologian oppilaan kokemusmaailmaan, mikä tekee sen käytöstä mielekkäämpää opetuksessa. (Billings, 2009; Cockell, 2002; Gilbert, 2006; Oliveira & Barufaldi, 2009)

Suomessa astrobiologian käyttämistä opetuksen kontekstina ei ole tutkittu. Astrobiologian opetustakaan ei tiedettävästi ole Suomessa juurikaan järjestetty yliopistoa alemmilla koulutusasteilla. *Helsingin yliopisto* järjestää yhden astrobiologian kurssin, jota voi opiskella myös *Helsingin yliopiston Avoimessa yliopistossa* (Helsingin yliopisto, 2018a, 2018b). *Turun yliopistossa* taas on mahdollista suorittaa 25 opintopisteen laajuinen astrobiologian sivuainekokonaisuus (Turun yliopisto, 2011). Vertailukohtana voidaan käyttää esimerkiksi Isoa-Britanniaa, jossa astrobiologian tutkimusta ja/tai opetusta tehdään erään kyselyn mukaan 26 korkeakoulussa, kun niitä on Isossa-Britanniassa yhteensä yli 150 (Dartnell & Burchell, 2009). Suomessa on 36 korkeakoulua, joista 13 on yliopistoja (Opetus- ja kulttuurimisteriö, 2019).

Maailmalla astrobiologian opetusta on tutkittu kohtalaisesti. Aihetta koskevia julkaisuja on kuitenkin tehty vähäisesti varsinaisissa koulutukseen keskityvissä tieteellisissä aikakauslehdissä. Julkaisut ovat lähinnä konferenssijulkaisuja tai *Astrobiology*-lehdessä julkaistuja artikkeleja. Kontekstia on tutkittu kaikilla koulutusasteilla. Tutkimusten perusteella astrobiologian käyttö opetuksen kontekstina on oppimisen ja oppimismotivaation kannalta hyödyllistä. Tästä kerrotaan luvussa 3.3.1. Astrobiologiakontekstin opetuksellisia haasteita käsitellään luvussa 3.3.2. Luvussa 3.3.3 taas linkitetään kontekstia perusopetuksen opetussuunnitelman kemian ja laaja-alaisen osaamisen sisältöihin. (esim. Arino de La Rubia ym., 2009; Carrapiçoa, Lourençob, Fernandesc, & Rodriguesd, 2002; Horodyskyj ym., 2018)

3.3.1 Mahdollisuudet

Kuten aiemmin on todettu, Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tieteellinen tutkimus sopii kontekstina kemian horisontaalisesti eheyttävään opetukseen, koska astrobiologia tieteenä soveltaa kemian lisäksi monia muitakin perinteisiä luonnontieteitä (esim. Cockell, 2002). Lisäksi astrobiologialla on vahva sidos kulttuuriin ja yhteiskuntaan (esim. Billings, 2009). Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia on pidetty oppilaiden keskuudessa kiinnostavana kontekstina. Suomessa Lavonen ja muut (2005) vertasivat astrobiologiakontekstia fysiikan muihin konteksteihin ja havaitsivat sen olevan sekä tyttö- että poikaoppilaiden keskuudessa perinteisiä fysiikan opetuksen konteksteja kiinnostavampi. Kemian opetuksen konteksteihin astrobiologiaa ei tiedettävästi ole verrattu. Astrobiologiakontekstin on havaittu myös lisäävän yleisesti oppilaiden kiinnostusta luonnontieteitä kohtaan kahdessa tutkimuksessa (Arino de La Rubia ym., 2009; Horodyskyj ym., 2018). Kiinnostuksen lisääntyminen luonnontieteitä kohtaan on yhteydessä kontekstipohjaisen opetuksen teoriaan (Bennett ym., 2005). Toisaalta Fergusson, Oliver ja Walter (2012) eivät saaneet merkittäviä tuloksia tutkiessaan astrobiologian opetuksen vaikutusta 15–16-vuotiaiden oppilaiden asenteisiin luonnontieteitä kohtaan. Kiinnostuksen puutetta on pidetty yhtenä keskeisimpänä luonnontieteiden opetuksen haasteista (Aikenhead, 2006; Tähkä, 2012).

Arino de La Rubia ja muut (2009) havaitsivat tutkimuksessaan, että astrobiologiakontekstin käyttö teki oppilaat tietoisemmiksi luonnontieteellisistä ammateista. Arino de la Rubia (2012) havaitsi, että astrobiologiakonteksti lisäsi oppilaiden kiinnostusta insinööritieteitä ja kirjoittamista kohtaan. Astrobiologiakontekstin käytön yhteyttä oppimistuloksiin ei ole tutkittu yläkouluikäisillä oppilailla tähän tutkielmaan tehdyn tiedonhaun perusteella. Billi ja muut (2014) havaitsivat, että 17–18-vuotiaat oppilaat menestyivät alkutilannetta paremmin luonnontieteellisiä tietoja mittaavassa osaamistestissä suoritettuaan astrobiologiaan liittyviä tutkimuksellisia aktiviteetteja, joita oppilaat myös pitivät hyödyllisinä oppimisen kannalta. Tutkimus tehtiin kuitenkin otoksella, joka koostui vain yhdeksästä oppilaasta, jotka valikoitiin esimerkiksi motivaation ja osaamisen perusteella. Horodyskyj ja muut (2018) selvittivät astrobiologian verkkokurssin vaikutusta oppimiseen, oppilaiden käsityksiin itsestään luonnontieteiden oppijoina ja luonnontieteiden kiinnostavuuteen yli tuhannen korkeakouluopiskelijan otoksella. He havaitsivat, että oppimistulokset olivat hyviä, ja että luonnontieteet koettiin kurssin jälkeen kiinnostavammiksi. Kurssilla ei kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta oppilaiden käsityksiin itsestään luonnontieteiden oppijoina. Myös Foster ja Drew (2009) tutkivat korkeakouluopiskelijoiden astrobiologian oppimista pienemmässä tutkimuksessa. He havaitsivat, että opiskelijat sekä oppivat hyvin että itsearvioivat oppineensa. Luonnontieteiden opetuksen keskeisinä haasteina on pidetty oppilaiden liian vähäistä hakeutumista luonnontieteellisiin ammatteihin ja heikkoa osaamista luonnontieteissä (Aikenhead, 2006). (Arino de la Rubia, 2012; Billi ym., 2014; Foster & Drew, 2009; Horodyskyj ym., 2018)

Oppiminen alkaa, kun oppilaan ennakkokäsitykset joutuvat koetukselle (esim. Lonka, 2015). Oppilaiden ennakkokäsityksiä Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksiin liittyvistä aiheista on tutkittu. Tutkimuksista voidaan havaita, että oppilailla on useita yleisiä virhekäsityksiä aiheeseen liittyen. Offerdahl, Prather ja Slater (2003) havaitsivat, että oppilailla esiintyy virhekäsityksiä esimerkiksi valon, veden ja hapen merkityksestä elämälle. Tutkimukseen osallistui oppilaita yläkoulusta, lukiosta ja korkeakoulusta. Tsitini ja Skoumios (2015) havaitsivat samoja virhekäsityksiä valon ja veden merkityksestä elämälle. Lisäksi heidän tutkimuksessaan nousi esille virhekäsityksiä maailmankaikkeuden alkuperästä, rakenteesta ja alkuainekoostumuksesta. Sen lisäksi että virhekäsityksiä on havaittu, Billi ja muut (2014) huomasivat, että astrobiologiakontekstissa

tapahtuneet aktiviteetit tarjoavat oppilaille heidän omasta mielestään mielekkäitä haasteita. Mielekkäät haasteet lisäävät oppilaiden pätevyyden tunnetta, mikä on keskeistä kontekstipohjaisessa opetuksessa (Gilbert, 2006). (Offerdahl ym., 2003; Tsitini & Skoumios, 2015)

Fergusson, Oliver ja Walter (2012) selvittivät tutkimuksessaan astrobiologiakontekstin vaikutusta 15–16-vuotiaiden oppilaiden käsityksiin luonnontieteiden luonteesta. Heidän ainoa merkittävä tuloksensa oli, että oppilaat ymmärsivät paremmin luovuuden merkityksen luonnontieteissä. Toisaalta Arino de la Rubian (2012) tutkimuksessa oppilaat kokivat, että astrobiologiakonteksti lisäsi heidän ymmärrystään yleiselläkin tasolla luonnontieteen luonteesta ja teknologian käytöstä tieteessä. Price (2009) esittää, että astrobiologiakonteksti lisää tiedon siirtovaikutusta (eng. *transfer*), koska sen avulla voidaan abstrahoida elämään liittyviä määritelmiä sekä antaa niille uusia käyttömahdollisuuksia ja merkityksiä. Merkityksellisten yhteyksien luominen on yksi kontekstuaalisuuden kriteereistä. Oliveira (2008) argumentoi, että astrobiologian opetus kehittää oppilaiden kriittistä ajattelua, koska astrobiologian avulla voidaan havainnollistaa tieteellisten teorioiden ja uskomusten välistä rajaa. Oliver ja Fergusson (2007) pitävät mahdollisena kehittää aikuisopiskelijoiden luonnontieteen kielen oppimista astrobiologian opetuksella. Carrapiçoa ja muut (2002) katsovat, että astrobiologian käyttö opetuksessa kehittää oppilaiden kykyä kysymysten esittämiseen, itsereflektioon ja luovaan ajatteluun, koska astrobiologia käsittelee kysymyksiä, joihin ei tiedetä vastausta. Kriittinen ja luova ajattelu ovat kontekstilähtöisen opetuksen keskeisiä piirteitä. Rodrigues ja Carrapiço (2006) sekä Staley (2003) näkevät astrobiologian kiinnostavana väylänä tutustua koulussa tieteen poikkitieteelliseen nykytutkimukseen, koska astrobiologia on nuori ja voimakkaasti kehittyvä tieteenala. (Fergusson ym., 2012; E. Johnson, 2002)

Astrobiologiakontekstissa on järjestetty opetusta useilla eri työtavoilla ja monenlaisissa oppimisympäristöissä. Työtapojen ja oppimisympäristöjen monipuolisuus parantaa oppimista ja oppimismotivaatiota (esim. Lonka, 2015). Astrobiologiasta on järjestetty sekä kontaktiopetusta että etäopetusta verkkokursseilla (esim. Fergusson, Oliver, & Walter, 2012; Horodyskyj ym., 2018). Horodyskyj ja muiden (2018) tapaustutkimuksella tutkitussa verkkokurssissa opiskelijat tekivät paljon tietokoneavusteisia mallinnustehtäviä, joista osa

liittyi kemiaan, ja joissa eri tiedonnalojen mallinnusta integroitiin monimutkaisten ongelmien ratkaisemiseksi. Tietokoneavusteisen mallinnuksen on todettu olevan monin tavoin hyödyllistä kemian oppimisen kannalta (Pernaa, Aksela, & Ghulam, 2017). Tutkimukselliset aktiviteetit ovat olleet vahvasti mukana monessa astrobiologian opetuskokeilussa. Monessa opetuskokeilussa on tehty yhteistyötä koulun ulkopuolisten tahojen kanssa, jolloin on järjestetty esimerkiksi toiminnallisia opintokäyntejä tutkimusinstituutioihin ja astrobiologia-aiheisiin näyttelyihin, joissa on hyödynnetty nykyteknologiaa ja luotu virtuaalisia oppimisympäristöjä (Barge ym., 2013; Blumberg, 2003; Cockell ym., 2018; Oliver & Fergusson, 2007). Esimerkiksi Oliver ja Fergusson (2007) käyttivät tutkimuksessaan virtuaalitodellisuuden opetuskäyttöä, kun aikuisopiskelijat tekivät virtuaalisen kenttätutkimusmatkan Marsiin. Arino de la Rubia (2012) havaitsi, että astrobiologiakontekstin käytöllä oli positiivisia vaikutuksia opettajien kokemuksiin omasta pedagogisesta tiedosta ja luonnontieteellisestä sisältötiedosta, kun koulun ulkopuoliset tahot olivat antaneet heille perehdytystä kontekstin mukaisen opetuksen järjestämistä varten. (Arino de La Rubia ym., 2009; Billi ym., 2014)

3.3.2 Haasteet

Vaikka astrobiologian aiheet ovat monin tavoin hyödyllisiä eheyttävässä opetuksessa, niiden käyttöön liittyy myös useita haasteita. Billings (2009) näkee astrobiologiassa paljon potentiaalia oppiainerajat ylittävään opetukseen kaikilla koulutusasteilla, mutta keskeisenä ongelmana on, ettei astrobiologian määritelmä kohtaa tavallisten ihmisten käsityksiä siitä. On havaittavissa, ettei astrobiologian tieteellinen määritelmä ole välttämättä tuttu Suomen luonnontieteiden opettajillekaan. Esimerkiksi Myllyntausta ja Peuhkuri (2015) kutsuvat Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimista UFO-tutkimuksiksi, jotka eivät kuulu eheyttävään opetukseen, koska ne eivät ole heidän käsitystensä mukaan yhteydessä opetussuunnitelman tavoitteisiin. Maailmalla haasteeseen on vastattu järjestämällä opettajille täydennyskoulutusta ja verkkokursseja astrobiologiasta (Harman & Devore, 2009; Prather & Slater, 2002).

Astrobiologia on luonnontiedettä. Se on kuitenkin luonteeltaan vahvemmin spekulatiivista kuin perinteiset luonnontieteet. Tästä voidaan mainita esimerkkinä vaihtoehtoiset biokemiat, joiden olemassaolosta ei ole mitään tieteellistä näyttöä, jota luonnontieteet yleisesti vaativat teorioidensa tueksi. Oliveiran (2008) mukaan astrobiologiakontekstilla voidaan havainnollistaa tieteellisen tiedon ja uskomustiedon välistä rajaa. Kuitenkin oppilaiden käsitys tästä rajasta voi mahdollisesti myös hämärtyä, mikäli asiaan ei kiinnitetä kunnolla huomiota opetuksessa. Siten astrobiologian spekulatiivisen luonteen voisi olettaa aiheuttavan oppilaille mahdollisia virhekäsityksiä luonnontieteiden luonteesta. Maan ulkopuolinen elämä on mystistä, koska sitä ei ole löydetty. Aikenheadin (2006) mukaan luonnontieteisiin liitetty mystisyys on yksi keskeinen syy siihen, miksi oppilaiden on vaikea oppia niitä. Voisi olettaa, että astrobiologiakonteksti saattaisi mahdollisesti lisätä oppilaiden kokemuksia luonnontieteiden mystisyydestä.

Vertikaalisesti eheässä kemian opetuksessa opetuksen tulisi lähteä liikkeelle konkreettiselta tasolta. Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstia ei kuitenkaan voida suoraan tuoda koulumaailmaan havaittavalla tasolla. Konkretia, jota kontekstiin voi tuoda, on joko Maan elämää tai scifiä, joista voidaan lähteä tekemään analogioita Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksiin. Abstraktien sisältöjen oppimista voidaan tukea käyttämällä molekyylimallinnusta ja muuta visualisointia (esim. Pernaa ym., 2017).

Kuten aiemmin todettiin, astrobiologiakonteksti koetaan oppilaiden keskuudessa muita luonnontieteiden konteksteja, kuten kestävää kehitystä ja teknologiaa, kiinnostavammaksi (Lavonen ja muut, 2005). Koulun tehtävänä on oppilaiden innostamisen lisäksi antaa heille tulevaisuudessa tarvittavia tietoja ja taitoja, joiden avulla he selviytyvät arjesta ja tekevät hyviä päätöksiä itsensä, ympäristön ja ihmiskunnan kannalta. Siten astrobiologiakontekstia ei voida pelkästään oppilaiden kiinnostuksen pohjalta arvottaa muiden opetuksen kontekstien yläpuolelle. Yhden eheyttävän opetuksen kontekstin käyttäminen on aina pois joidenkin muiden kontekstien käytöstä. Perusopetuksen opetussuunnitelmassa voimakkaasti painotettavia konteksteja ovat esimerkiksi kestävä kehitys, terveys ja turvallisuus. (Opetushallitus, 2016)

Kaikki Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstiin liittyvä opetuksen tutkimus ulkomailla ei ole kunnolla yleistettävissä Suomeen. Arino de La Rubia ja muut (2009) havaitsivat astrobiologiakontekstin lisäävän oppilaiden tietoisuutta luonnontieteellisistä ammateista Yhdysvalloissa. Suomessa luonnontieteilijät, kuten kemistit, biologit tai geologit, eivät kuitenkaan työllisty kotimaisiin astrobiologian tutkimusinstituutioihin, koska niitä ei ole Suomessa. Kyseiset ulkomaiset instituutiot ovat olleet myös mukana astrobiologia-aiheisen tiedeopetuksen suunnittelussa ja järjestämisessä. Suomessa koulut eivät pysty tekemään yhteistyötä vastaavien ulkopuolisten tahojen kanssa, mikä aiheuttaa opettajalle suuremman vastuun ja työkuorman. Myös suomenkielisen materiaalin vähäisyys Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuksesta asettaa opettajalle haasteita kontekstin opetuskäyttöön liittyen. (Barge ym., 2013; Billi ym., 2014; Blumberg, 2003; Cockell ym., 2018)

3.3.3 Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimisen linkittymien perusopetuksen opetussuunnitelmaan

Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin keskeisenä haasteena on Portugalissa pidetty sen linkittämistä kansalliseen opetussuunnitelmaan (Carrapiçoa ym., 2002; Rodrigues & Carrapiço, 2006). Tilanne ei kuitenkaan ole aivan sama Suomessa, jossa perusopetuksen opetussuunnitelma ei aseta kovinkaan tarkkoja rajoituksia opetuksen kontekstualisoimiselle, vaikka tiettyjä konteksteja, kuten kestävää kehitystä, korostetaan opetussuunnitelman kemian osassa vuosiluokille 7–9 (Opetushallitus, 2016). Toisaalta Myllyntausta ja Peuhkuri (2015) eivät pitäneet Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstia perusopetuksen opetussuunnitelman mukaisena, mikä voi mahdollisesti johtua siitä, että heidän käsitystensä mukaan konteksti perustuu tieteen sijasta uskomuksiin, jotka eivät kuulu tiedeopetukseen.

Kemian perusopetuksen sisältöalueista perusopetuksen vuosiluokille 7–9 astrobiologiakonteksti linkittyy vahvimmin sisältöalueeseen *S4 Kemia maailmankuvan rakentajana*. Sen mukaan valituissa opetuksen sisällöissä tulee hahmottua kemian luonne tieteenä ja luonnon mittasuhteet. Lisäksi kyseisen sisältöalueen mukaan kemian opetukseen kuuluu tutustuminen kemia-aiheisiin uutisiin ja nykypäivän tutkimukseen. Kemian luonteesta voidaan astrobiologiakontekstin avulla opettaa erityisesti kemian vaillinaisuutta, luovuuden merkitystä ja kysymysten esittämisen merkitystä (Carrapiçoa ym., 2002; Fergusson, Oliver, & Walter, 2012). Astrobiologiassa tarkastelun kohteena ovat luonnon mittasuhteet atomeista maailmankaikkeuteen. Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksista julkaistaan melko usein uutisia massatiedotusvälineissä. Lisäksi astrobiologia on nuori tieteenala, jota pidetään kiinnostavana kontekstina tieteen nykytutkimukseen tutustumisessa (Billings, 2009; Rodrigues & Carrapiço, 2006). (Opetushallitus, 2016)

Maan ulkopuolisen elämän tutkimuskonteksti on yhteydessä myös vuosiluokkien 7–9 kemian sisältöalueisiin *S1 Luonnontieteellinen tutkimus*, *S5 Aineiden ominaisuudet ja rakenne* ja *S6 Aineiden ominaisuudet ja muutokset.* Astrobiologiakonteksti mahdollistaa sisältöalueen *S1* mukaisen tutkimuksellisen työskentelyn (esim. Arino de La Rubia ym., 2009; Billi ym., 2014; Rodrigues & Carrapiço, 2006). Astrobiologiakonteksti mahdollistaa syventymisen aineiden ominaisuuksiin ja rakenteeseen sisältöalueen *S5* mukaisesti. Kemialliset yhdisteet, joihin kontekstissa voidaan syventyä, ovat esimerkiksi vaihtoehtoisia bioliuottimia tai metabolisia merkkiyhdisteitä Maan ulkopuolisesta elämästä (esim. Benner ym., 2004). Alkuaineista kontekstissa voidaan syventyä elämän kannalta tärkeisiin alkuaineisiin, kuten hiileen, joka mainitaan erikseen sisältöalueen *S5* kuvauksessa (esim. Cockell, 2015). Hiileen liittyen kontekstissa voidaan syventyä myös orgaanisiin merkkiyhdisteisiin elämästä (esim. Summons ym., 2008). Varsinaisesti hiilen merkitys elämälle mainitaan vasta sisältöalueessa *S6*. Sisältöalueeseen *S6* kuuluu tutustuminen kemialliseen reaktioon. Astrobiologiakontekstissa voidaan tutustua esimerkiksi energiametaboliareaktioihin, joilla on selitetty Maan ulkopuolisissa kohteissa havaittuja metabolisia merkkejä elämästä (esim. Cockell, 1999). *S6:n* mukaan kemian opetuksessa tutustutaan happamuuden ja pitoisuuden käsitteisiin arkisten esimerkkien avulla. Näihin käsitteisiin voidaan tutustua ei-arkisessa astrobiologiakontekstissa tarkastelemalla elämän esiintymismahdollisuuksia happamissa olosuhteissa tai aineiden pitoisuuksia kaasukehissä

metabolisina merkkeinä elämästä. Näistä aiheista voidaan muodostaa yhteyksiä arkisiin esimerkkeihin, kuten ruuan säilöntään happamuutta lisäämällä tai ilmakehän happipitoisuuteen metabolisena merkkinä Maan elämästä. (Opetushallitus, 2016; Schulze-Makuch & Irwin, 2002)

Kemian opetuksen tavoitteista vuosiluokille 7–9 Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskonteksti on selkeimmin yhteydessä monialaisia oppimiskokonaisuuksia käsittelevään tavoitteeseen *T15*, koska kontekstissa tutustutaan kemian tietojen soveltamiseen tiedeyhteisössä. Astrobiologiakontekstin on esitetty lisäävän oppilaan kykyä esittää kysymyksiä (Carrapiçoa ym., 2002). Kysymysten esittäminen on mainittu kemian tavoitteessa *T5*. Astrobiologiakontekstissa voidaan tehdä myös muiden tutkimisen taitojen tavoitteiden (*T5–T9*) suuntaista toimintaa (esim. Arino de La Rubia ym., 2009; Billi ym., 2014; Rodrigues & Carrapiço, 2006). (Opetushallitus, 2016)

Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstilla voidaan pyrkiä kaikkiin kemian tietojen ja niiden käyttämisen tavoitteisiin (*T10–T15*). Tavoite *T10* käsittelee kemian käsitteitä ja niiden käyttämistä. Astrobiologiakontekstin on esitetty edistävän luonnontieteen kielen oppimista ainakin aikuisopiskelijoilla (Oliver & Fergusson, 2007). Mallien käyttö on mainittu opetussuunnitelman tavoitteessa *T11*. Astrobiologiakontekstin opetuskäytössä on hyödynnetty tietokoneavusteista mallinnusta (Horodyskyj ym., 2018). Tavoitteen *T12* mukaan oppilaan pitäisi oppia arvioimaan kriittisesti tietolähteitä. Astrobiologiakontekstin on katsottu lisäävän oppilaan kykyä kriittiseen ajatteluun, joka on edellytys kyseisen tavoitteen saavuttamiselle (Oliveira, 2008). Tavoite *T13* liittyy luonnontieteen luonteen ymmärtämiseen. Astrobiologiakontekstin on todettu edistävän luonnontieteen luonteen oppimista (Arino de la Rubia, 2012; Carrapiçoa ym., 2002; Fergusson ym., 2012). Astrobiologiakontekstin yhteys tavoitteen *T14* mukaiseen ymmärrykseen kemiallisesta reaktiosta esiteltiin perustellessa sen yhteys sisältöalueeseen *S6*. (Opetushallitus, 2016)

Haastavinta on integroida Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstia opetussuunnitelman vuosiluokkien 7–9 kemian tavoitteisiin, jotka käsittelevät merkitystä, arvoja ja asenteita (T1–T4). Astrobiologiakonteksti voi innostaa oppilasta tavoitteen *T1* mukaisesti kemian opiskeluun, koska konteksti koetaan kiinnostavaksi (Arino de La Rubia ym., 2009; Horodyskyj ym., 2018). Kontekstin kiinnostavuus voi tuottaa kemian opiskeluun tilannesidonnaisen motivaation, joka voi kehittyä sisäiseksi motivaatioksi (Lonka, 2015). Opetussuunnitelman kemian osassa vuosiluokille 7–9 mainitaan myös tasa-arvon ja yhdenvertaisuuden huomioiminen konteksteja valittaessa. Astrobiologia konteksti kiinnostaa molempia sukupuolia. Tavoite *T2* ei linkity kontekstiin mutta sen suuntaista toimintaa voidaan tehdä valitsemalla kontekstiin pitkäjänteistä opiskelua edellyttäviä työtapoja, kuten projektityöskentelyä. Astrobiologiakontekstilla ei ole yhteyttä tavoitteisiin *T3* ja *T4*, koska kontekstin avulla ei suoraan hahmotu kemian osaamisen merkitys omassa elämässä, elinympäristössä ja yhteiskunnassa, eikä konteksti liity kestävän tulevaisuuden rakentamiseen. (Lavonen ym., 2005; Opetushallitus, 2016)

Maan ulkopuolisen elämän tutkimuskonteksti on yhteydessä myös useaan perusopetuksen opetussuunnitelman laaja-alaisen osaamisen tavoitteeseen. Laaja-alaisen osaamisen tavoitteen *L1 Ajattelu ja oppimaan oppiminen* mukaan oppilaita tulee rohkaista epäselvän ja ristiriitaisen tiedon äärelle. Astrobiologian tieto on suurelta osin vaillinaista ja siten juuri epäselvää ja ristiriitaista (esim. Staley, 2003). Tavoitteen *L4 Monilukutaito* mukaan oppilaan tulisi oppia arvioimaan tiedon eri muotoja. Astrobiologiakontekstin on katsottu havainnollistavan tieteellisen tiedon ja uskomustiedon välistä rajaa (Oliveira, 2008). Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuksessa hyödynnetään tieto- ja viestintäteknologiaa astrokemian mittausautomaation ja mallinnuksen muodossa (esim. Des Marais ym., 2008). Tavoitteen *L5 Tieto- ja viestintäteknologinen osaaminen* mukaan oppilaiden tulee päästä tutustumaan tieto- ja viestintäteknologian erilaisiin sovelluksiin ja käyttömahdollisuuksiin. Arino de la Rubian (2012) havainto siitä, että astrobiologiakonteksti lisää oppilaiden tietoisuutta teknologian käytöstä tieteessä, on yhteydessä tähän opetussuunnitelman laaja-alaisen osaamisen tavoitteeseen. Tavoitteen *L6 Työelämätaidot ja yrittäjyys* mukaan oppilaita tuetaan tunnistamaan ammatillisia kiinnostuksen kohteitaan. Astrobiologiakontekstin opetuskäytön on todettu tekevän yläkouluikäiset oppilaat tietoisemmiksi luonnontieteellisistä ammateista, mutta tulosta on tosin vaikea yleistää Suomen olosuhteisiin (Arino de La Rubia ym., 2009). (Opetushallitus, 2016)

Perusopetuksen opetussuunnitelman opetuksen eheyttämistä ja monialaisia oppimiskokonaisuuksia käsittelevässä luvussa todetaan, että käsiteltävien ilmiöiden ajankohtaisuus lisää oppilaiden motivaatiota. Tämä on yhteydessä Rodriguesin ja Carrapiçon (2006) sekä Staleyn (2003) esittämään näkemykseen, jonka mukaan astrobiologiakonteksti on kiinnostava aihe tieteen nykytutkimuksen tutustumisessa. Monialaisten oppimiskokonaisuuksien yksi tavoite on antaa tukea oppilaan luovuudelle ja älylliselle uteliaisuudelle. Astrobiologiakontekstin on katsottu ajavan näitä tavoitteita kehittämällä oppilaiden luovuutta ja kykyä esittää kysymyksiä (Carrapiçoa ym., 2002). (Opetushallitus, 2016)

3.4 Verkkomateriaali opetuksessa

Internetistä on tullut ihmiskunnan historian suurin kommunikaatioverkosto. Se on nykyisin monille yksilöille, yrityksille ja organisaatioille hallitseva kanava tiedon jakamiseen ja vaihtamiseen. (Jolliffe, Ritter, & Stevens, 2001) Myös perusopetuksen opetussuunnitelmassa (Opetushallitus, 2016) tieto- ja viestintäteknologista osaamista pidetään tärkeänä kansalaistaitona itsessään sekä osana monilukutaitoa. Opetussuunnitelman mukaan oppilaiden tulee päästä harjoittamaan monilukutaitoaan monimediaisissa, teknologiaa hyödyntävissä oppimisympäristöissä. Oppilaita tulisi ohjata käyttämään tieto- ja viestintäteknologiaa tutkivaan työskentelyyn. (Opetushallitus, 2016)

Jolliffe ja muiden (2001) sekä McKimmin, Jollien ja Cantillonin (2003) mukaan verkkomateriaaleilla on esimerkiksi seuraavia hyötyjä opetuksessa:

- Verkkomateriaalien käyttö ei ole ajasta ja paikasta riippuvaista.
- Niiden päivittäminen on suhteellisen helppoa.
- Ne voivat lisätä oppijoiden ja opetuksen järjestäjän vuorovaikutuksen määrää.
- Ne mahdollistavat sekä formaalit että informaalit oppimisyhteisöt.
- Ne mahdollistavat ongelma- ja/tai tehtäväperustaisen oppimisen.
- Niiden avulla voidaan saada suhteellisen helposti käyttöön internetissä jo olemassa olevia resursseja.
- Niihin voidaan sisällyttää reaaliaikaista sisältöä, kuten videokokouksia ja keskustelualueita.
- Niihin on mahdollista sisällyttää monimediaista sisältöä, jossa hyödynnetään esimerkiksi tekstiä, kuvia, graafeja, videoita ja animaatioita.
- Ne mahdollistavat oppimisen edistyksen seuraamisen.
- Ne koetaan oppilaiden keskuudessa usein miellyttäviksi oppimisympäristöiksi.
- Ne mahdollistavat oppilaskeskeisyyden ja oppilaiden erilaisten tarpeiden huomioimisen.

Verkkomateriaalien käytöllä oppimisympäristöinä on myös haasteita. Niihin liittyy teknisiä rajoitteita. Lisäksi laadukkaiden verkkomateriaalien kehittäminen on suhteellisen kallista ja niiden käyttäminen edellyttää kalliita laitteita. Niiden kehittäminen ja käyttäminen edellyttävät myös uusien taitojen opiskelua. (Jolliffe ym., 2001; McKimm ym., 2003)

Tässä kehittämistutkimuksessa verkkomateriaalin mahdollisuuksien hyödyntämiseen valittiin kolme painopistettä, jotka ovat animaatiot mediasisältönä, välittömällä palautteella varustetut tehtävät ja hyperteksti. Nämä valittiin siksi, ettei niitä voi hyödyntää paperisissa oppimateriaaleissa. Animaatiot otettiin painopisteeksi, koska ne ovat hyödyllisiä kemian submikroskooppisen tason visualisoimisessa (Falvo, 2008; Tasker & Dalton, 2008). Välittömällä palautteella varustetut tehtävät taas ovat hyvä väline arvioinnissa (Slepkov, 2013). Hyperteksti valittiin painopisteeksi, koska verkkomateriaalin konteksti on todennäköisesti monille sen käyttäjille ennestään melko tuntematon, minkä vuoksi verkkomateriaalin on tarjottava mahdollisuuksia hankkia aiheesta lisätietoa linkkien avulla. Luvussa 3.4.1 kerrotaan animaatioista kemian opetuksessa. Luvussa 3.4.2 käsitellään välittömällä palautteella varustettujen tehtävien käyttämistä opetuksessa. Luvussa 3.4.3 kerrotaan hypertekstin käytöstä verkkomateriaaleissa.

3.4.1 Animaatiot kemian opetuksessa

Animaatiolla tarkoitetaan tekniikkaa, jossa video valmistetaan kuva kuvalta filmille. Animaation peräkkäiset kuvat sisältävät vain pieniä muutoksia. Kun filmi näytetään, syntyy nopeasti vaihtuvista kuvista illuusio liikkuvasta kuvasta. Opetuksessa animaatioiden tehtäviä ovat huomion saaminen, kiinnostuksen herättäminen sekä tiedon esittäminen ja täsmentäminen. (Schwartz, Milne, Homer, & Plass, 2013)

Kemiassa animaatioita käytetään tyypillisesti submikroskooppisen tason visualisoimiseen. Falvon (2008) mukaan animaatiot sopivat kemian ilmiöihin, jotka ovat dynaamisia ja monimutkaisia, ja jotka sisältävät molekyylejä ja reaktioita. Animaatioiden avulla oppilaat

voivat kehittää kemian ilmiöistä dynaamisia mentaalimalleja, kun taas pelkkien kuvien avulla oppilaille syntyy usein staattinen mentaalimalli. Staattiset visualisoinnit voivat myös jättää mentaalimallin kokonaan kehittymättä. Animaatiot voivat aktivoida prosessin, jossa oppilas muuttaa aiempia käsityksiään. Näin virhekäsitykset voivat vähentyä animaatioiden avulla. Erityisen tehokkaita animaatiot ovat kemian aiheiden ymmärryksen lisäämisessä, kun niitä käytetään rinnakkain reaktioyhtälöiden, kokeellisuuden ja verbaalisen ilmaisun kanssa. (Tasker & Dalton, 2008)

Vaikka animaatioiden on havaittu vähentävän virhekäsityksiä, on niiden myös havaittu aiheuttavan uusia virhekäsityksiä. Näin voi tapahtua, jos oppilaat tulkitsevat animaation väärin. Riski tähän on suuri, koska animaatiot ovat usein monimutkaisia ja nopeasti eteneviä. Oppilaat voivat myös ottaa animaation absoluuttisena totuutena mallin sijasta. Lisäksi oppilaat pyrkivät selittämään animaatiolla näkemänsä aiempien käsitysten avulla. Jos nämä käsitykset ovat virheellisiä tai epätäsmällisiä, ne eivät välttämättä muutu animaation avulla. Sen vuoksi opetustilanteessa animaatiosta täytyy käydä keskustelua ja linkittää sen sisältö kemian makroskooppiseen ja symboliseen tasoon. (Falvo, 2008; Tasker & Dalton, 2008)

Animaatioiden käyttäminen kemian submikroskooppisen tason visualisoimiseen on tarkoituksenmukaista astrobiologiakontekstissa, koska astrobiologian sisällöt ovat abstrakteja. Kemian submikroskooppisen tason visualisointi tukee oppilaiden ymmärrystä kemian abstrakteista aiheista (esim. Pernaa ym., 2017). Animaatiota voi mahdollisesti käyttää myös eri tiedonalojen mallinnuksen integrointiin. Eri tiedonalojen mallien integrointia on käytetty onnistuneesti astrobiologian opetuksessa (Horodyskyj ym., 2018).

3.4.2 Välittömällä palautteella varustetut tehtävät opetuksessa

Perusopetuksen opetussuunnitelman mukaan opetuksessa tulisi harjoittaa oppimista tukevaa arviointikulttuuria. Tähän pyritään tukemalla oppilaan ymmärrystä omasta oppimisprosessistaan ja tekemällä oppilaan edistyminen näkyväksi koko oppimisprosessin aikana. Opintojen aikaisen arvioinnin tulisi olla pääasiassa oppimisen ohjaamista palautteen avulla. Oppimisprosessin aikaista arviointia, jolla tuotetaan oppimista, kutsutaan formatiiviseksi arvioinniksi. Formatiivisen arvioinnin tekemiseen on olemassa useita menetelmiä. (Bell & Cowie, 2000; Opetushallitus, 2016)

Eräs formatiivisen arvioinnin menetelmä on välittömällä palautteella varustetut tehtävät, joita voidaan luoda sähköisiin tehtäväalustoihin. Välittömällä palautteella tarkoitetaan teknistä ominaisuutta, joka antaa tehtävään vastaavalle oppilaalle vastauksesta palautetta heti vastaamisen jälkeen. Välittömän palautteen on todettu edistävän oppimista ja motivoivan oppilaita. Opettajalle välittömän palautteen tehtävät mahdollistavat tehokkaan oppimisen analytiikan ja ajan säästämisen, kun tehtävien korjaaminen tapahtuu automatisoidusti. Välittömän palautteen tehtävien haasteena on se, että niillä on vaikeaa mitata laajasti oppilaan kognitiivisia kykyjä. Välitöntä palautetta on yksinkertaisinta hyödyntää monivalintatehtävissä, jotka mittaavat muistamista ja ymmärtämistä. (Slepkov, 2013).

3.4.3 Hyperteksti verkkomateriaaleissa

Hypertekstillä tarkoitetaan internetissä olevaa tekstiä, joka sisältää hyperlinkkejä, joiden välityksellä hypertekstin käyttäjä pääsee siirtymään toisiin kohtiin tekstissä tai kokonaan uusiin teksteihin. Hypermediaksi kutsutaan materiaalia, joka sisältää hypertekstin lisäksi monimediasisältöä eli esimerkiksi hypertekstin seassa olevia kuvia ja videoita. Hyperteksti mahdollistaa tehokkaan navigaation verkkomateriaalin sisällä ja verkkomateriaalia tukeviin internetin resursseihin. Verkkomateriaalia tukevien internetin resurssien linkitys hyödyttää sekä opettajaa että oppilasta. Opettaja saa helposti käyttöönsä lisämateriaalia

opetuskäyttöön sovellettavaksi ja oppilaan on mahdollista löytää yksilöllisiä oppimispolkuja ja vahvistaa omakohtaista kiinnostustaan aiheeseen. Linkityksellä tuettava itsesäädelty oppiminen on kontekstipohjaisen oppimisen yksi tekijä (E. Johnson, 2002). Hyvässä verkkomateriaalissa tulisi olla sopivasti tarkoituksenmukaisia hyperlinkkejä. (Jolliffe ym., 2001)

Verkkomateriaalissa käytettävien hyperlinkkien tulisi olla helposti identifioitavia ja loogisesti ryhmiteltyjä. Hyperlinkillä tapahtuvan siirtymisen sivulta sivulle pitäisi olla johdonmukaista, ja hyperlinkkien takaa aukeavien sivujen tulisi olla verkkomateriaalin aiheen kannalta relevantteja. Hyperlinkeistä aukeavien sivujen luotettavuus on aina varmistettava. Verkkomateriaalin jokaiselta sivulta pitäisi olla linkki takaisin verkkomateriaalin etusivulle. Verkkomateriaalin sisäisessä linkityksessä pitäisi huomioida, että hyperlinkkien tulisi toimia edestakaisin. Linkkien käyttäminen voidaan katsoa tärkeäksi astrobiologiakontekstissa, koska siitä on olemassa vain niukasti materiaalia, jota on hyvä tarjota verkkomateriaalin käyttäjälle. (Jolliffe ym., 2001)

3.5 Yhteenveto

Teoreettisessa ongelma-analyysissä vastattiin narratiivisen ja integroivan kirjallisuuskatsauksen avulla tutkimuskysymykseen:

- Millä tavalla Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin ja verkkomateriaalin opetukselliset mahdollisuudet ovat yhteydessä toisiinsa sekä eheyttävän opetuksen teoriaan ja perusopetuksen opetussuunnitelmaan?

Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia tutkiva tieteenala on nimeltään astrobiologia. Tieteenalan tavoitteena on ymmärtää paremmin elämää sekä sen syntyä ja edellytyksiä. Astrobiologia pyrkii löytämään Maan ulkopuolista elämää Aurinkokunnasta ja sen ulkopuolelta. Aurinkokunnassa Maan ulkopuolisen elämän mahdollisina

esiintymispaikkoina pidetään Venuksen pilviä, Marsia sekä muutamia kaasuplaneettojen kuita, kuten Europaa ja Enceladusta. Astrobiologiassa sovelletaan kemian tietoja, koska elämä on aineellinen prosessi. Astrobiologiassa ollaan kiinnostuneita elämän synnyn kemiasta, elämän kemiallisista edellytyksistä ja kemiallisista merkeistä, jotka viittaavat Maan ulkopuoliseen elämään. (esim. Billings, 2009; Cockell, 1999, 2015; Houtkooper & Schulze-Makuch, 2007; Mann, 2017)

Kemian opetusta voidaan eheyttää sekä vertikaalisesti että horisontaalisesti. Vertikaalinen eheyttäminen on oppiaineen sisäiseen johdonmukaisuuteen pyrkimistä. Horisontaalinen eheyttäminen tarkoittaa yhden oppiaineen opetuksen integroimista muiden oppiaineiden opetuksen kanssa niin, että tarkasteltavasta ilmiöstä syntyy kokonaiskuva. Perusopetuksen nykyinen opetussuunnitelma velvoittaa horisontaaliseen eheyttämiseen, jota voidaan tehdä joko ilmiö- tai tiedonalalähtöisesti. Horisontaalinen eheyttäminen perustuu todellisen maailman kontekstien käyttämiseen opetuksessa. Kontekstuaalisuudella voidaan lisätä kemian kiinnostavuutta, kun kemian merkitystä tuodaan esille kontekstien kautta. (Bennett ym., 2005; Hellström, 2008; E. Johnson, 2002; Juuti ym., 2015; Lonka ym., 2015; Opetushallitus, 2016)

Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstia on tutkittu sekä korkea-asteella että alemmilla koulutusasteilla. Tutkimuksissa on havaittu, että kontekstin käytöllä on paljon mahdollisuuksia kemian eheyttävässä opetuksessa. Astrobiologiakonteksti esimerkiksi kiinnostaa oppilaita ja mahdollisesti lisää heidän kiinnostustaan luonnontieteitä kohtaan. Kontekstin on havaittu olevan myös oppimisen kannalta mielekäs, sillä sen on havaittu esimerkiksi haastavan oppilaiden ennakkokäsityksiä ja lisäävän oppilaiden ymmärrystä luonnontieteen luonteesta. Haasteena kontekstin opetuskäytölle voidaan pitää astrobiologian spekulatiivisuutta, abstraktiutta ja irrallisuutta jokapäiväisestä elämästä (Aikenhead, 2006). Astrobiologiakontekstin käyttö opetuksessa on hyvin yhteydessä perusopetuksen opetussuunnitelman kemian sisältöön vuosiluokille 7–9, koska sen avulla voidaan esimerkiksi tutustua luonnontieteiden poikkitieteelliseen nykytutkimukseen. (Arino de La Rubia ym., 2009; Fergusson ym., 2012; Horodyskyj ym., 2018; Opetushallitus, 2016; Staley, 2003)

Verkkomateriaalit ovat tarpeellisia opetuksessa, koska internet on erittäin tärkeä kanava tiedon jakamiseen ja vaihtamiseen. Perusopetuksen opetussuunnitelman mukaan oppilaiden tulisi saada tutustua opetuksessa monimediaan, jota voidaan esittää esimerkiksi internetmateriaaleissa. Verkkomateriaalit mahdollistavat esimerkiksi animaatioiden ja välittömän palautteen käyttämisen sekä tehokkaan navigaation oikean tiedon äärelle tarkoituksenmukaisella internetin sisältöjen linkityksellä hypertekstin avulla. Animaatioilla pyritään kemian opetuksessa lisäämään oppilaiden ymmärrystä kemian dynaamisista ja monimutkaisista ilmiöistä. Välitön palaute tukee pyrkimystä lisätä formatiivista arviointia, joka edistää oppimista. (Bell & Cowie, 2000; Falvo, 2008; Jolliffe ym., 2001; Slepkov, 2013; Tasker & Dalton, 2008)

4 Empiirinen ongelma-analyysi I

Tässä luvussa selvitetään Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstiin liittyvän verkkomateriaalin tarvetta kemian opetuksessa. Empiirinen ongelma-analyysi I tehdään standardoidun surveyn eli jäsennellyn kyselylomakkeen avulla (Valli, 2001). Kyselyn perusjoukko koostuu kaikista Suomen kemian opettajista ja opettajaopiskelijoista. Luvussa 4.1 esitellään tarkemmin tutkimusasetelmaa ja -menetelmää. Luku 4.2 käsittelee kyselyn tuloksia ja niihin liittyvää pohdintaa. Luku 4.3 on yhteenveto empiirisestä ongelma-analyysistä I.

Tässä luvussa vastataan tutkimuskysymykseen:

- Kuinka tarpeelliseksi kemian opettajat ja opettajaopiskelijat kokevat astrokemiaa ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevän verkkomateriaalin kemian eheyttävässä opetuksessa?

4.1 Standardoitu survey kemian opettajien ja opettajaopiskelijoiden kokemuksista Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia tarkastelevan verkkomateriaalin tarpeellisuudesta

Tässä luvussa esitellään ensimmäisessä empiirisessä ongelma-analyysissä käytettyä tutkimusmenetelmää ja -asetelmaa. Luvussa 4.1.1 kuvaillaan kyselylomake ja vastausten analysointitapa. Luvussa 4.1.2 kuvataan, kuinka aineisto kerättiin, ja millainen on otos suhteessa tutkimuksen kohderyhmään ja perusjoukkoon.

4.1.1 Kyselylomake ja analysointitapa

Kyselylomake alkoi alkutekstillä, joka käsitteli Venuksen pilviä ja elämän esiintymismahdollisuuksia siellä. Vastaajaa pyydettiin alkutekstin ensimmäisessä kappaleessa lukemaan alkuteksti ennen lomakkeeseen vastaamista, jotta hän ymmärtäisi varmasti kaikki lomakkeen kohdat oikein. Tämä oli alkutekstin tavoite. Alkutekstin jälkeen lomakkeessa oli johdanto, jossa kerrottiin kyselyn tarkoitus ja annettiin vastaamisohjeet.

Kyselylomakkeessa oli 23 monivalintakohtaa, joihin vastaajan piti vastata valitsemalla itseään parhaiten kuvaava vastausvaihtoehto. Nämä kohdat oli jaettu kolmeen osioon, jotka olivat nimiltään:

- Taustatiedot
- Eheyttävä opetus
- Astrokemia ja astrobiologia

Ensimmäisessä osio koostui viidestä kohdasta. Taustatietojen avulla haluttiin selvittää kyselyn otoksen vastaavuutta perusjoukon kanssa. Taustatietoina selvitettiin sukupuolen ja iän lisäksi, onko vastaaja käsitellyt astrokemiaan ja -biologiaan liittyviä aiheita aiemmin opetuksessaan, ja pitääkö vastaaja astrobiologiaa tieteenalana. Taustatietojen avulla oli tarkoitus tehdä merkitsevyystestausta, mutta otoskoko jäi liian pieneksi tähän. Vastaajien taustatiedot esitellään tutkimusasetelman yhteydessä luvussa 4.1.2.

Eheyttävää opetusta käsittelevässä kyselylomakkeen osiossa haluttiin saada tietoa, kuinka tarpeellisiksi vastaajat kokevat ylipäätään eheyttävään opetukseen tarkoitetut materiaalit. Osion kysymykset liittyivät internetistä nykyisin löytyviin eheyttävän opetuksen materiaaleihin, oppikirjojen hyödyntämismahdollisuuksiin eheyttävässä opetuksessa sekä vastaajan kokemuksiin monialaisten oppimiskokemusten suunnittelun haastavuudesta. Kehittämistuotoksen kannalta osion avulla pyrittiin saamaan tietoa, jonka avulla tehdään kehittämispäätöksiä esimerkiksi opetuskäyttöä tukevien resurssien määrästä ja laadusta verkkomateriaalissa. Tämä osio sisälsi yhteensä kymmenen kohtaa. Näistä kohdista yhdeksää käytettiin kyselyn reliabiliteetin laskennallisessa arvioinnissa, koska vastausten voidaan olettaa olevan näihin kohtiin sisäisesti johdonmukaisia. Jos vastaaja kokee eheyttävän opetuksen suunnittelun haastavaksi, hän todennäköisesti kokee myös, ettei internetistä ja oppikirjoista löydy siihen sovellettavia materiaaleja riittävästi. (Cronbach, 1951; Peterson, 1994)

Astrokemiaa ja -biologiaa käsittelevä lomakkeen osio kahdeksan kohtaa, joiden avulla selvitettiin, kuinka kiinnostavaksi vastaaja uskoo oppilaiden kokevan kontekstin, ja kuinka paljon kontekstiin liittyvää materiaalia on vastaajan mielestä jo olemassa. Lisäksi osiossa selvitettiin kontekstin soveltuvuutta perusopetukseen ja sen tarvetta kemian tietojen linkittämisessä elämään ja sen monimuotoisuuteen. Osion avulla pyrittiin tekemään kehittämispäätöksiä esimerkiksi astrokemian ja astrobiologian sisältöjen suhteellisista painotuksista verkkomateriaalissa. Kyselylomake on esitetty kokonaisuudessaan tutkielman liitteissä (liite 1).

Kyselytutkimuksen tulokset analysoitiin kvantitatiivisesti. Kyselylomake koostui suljetuista monivalintakysymyksistä. Ainoastaan taustatieto-osiossa käytettiin avointa tarkennuskenttää kohdassa, jossa selvitettiin, onko vastaaja käyttänyt astrokemiaa opetuksensa kontekstina. Tähän tarkennuskenttään saadut tulokset analysoitiin kvalitatiivisesti aineistolähtöisellä sisällön kuvauksella (Tuomi & Sarajärvi, 2009). Nämä kvalitatiiviset tulokset esitellään tutkimusasetelman yhteydessä luvussa 4.1.2. Monivalinnoissa käytettiin taustatietoja lukuun ottamatta Likert-asteikkoa eli viisiportaista ordinaaliasteikkoa, joka pisteytettiin analyysissä taulukon 4 mukaisesti. (Valli, 2001)

Taulukko 4. Kyselyssä käytetty Likert-asteikko ja pisteytys

Vastausvaihtoehto	**Pisteytys**
Samaa mieltä	5
Jokseenkin samaa mieltä	4
Ei samaa eikä eri mieltä	3
Jokseenkin eri mieltä	2
Eri mieltä	1

Ordinaaliasteikossa käytettävä keskiluku on mediaani. Hajontalukuna ordinaaliasteikossa käytetään kvartiilipoikkeamaa. Kyselyn reliabiliteettia arvioitiin Cronbachin (1951) alfa-kertoimen avulla. Näitä tunnuslukuja käytetään kyselyn tulosten esittämisessä luvussa 4.2. Kyselyn kohdat, joissa ei käytetty Likert-asteikkoa, analysoitiin kuvaamalla vain eri vastausvaihtoehtojen frekvenssit aineistossa. Myös Likert-kohdista kuvattiin vastausvaihtoehtojen absoluuttiset ja suhteelliset frekvenssit. Ne esitellään kuitenkin vain tutkielman liitteissä (liite 2). (Valli, 2001)

4.1.2 Tutkimuksen toteutustapa ja tutkimusasetelma

Kysely toteutettiin sähköisenä. Sähköinen verkkokysely valittiin toteutustavaksi, koska sillä tavoittaa suuren määrän ihmisiä helposti. Jo tutkimuksen suunnitteluvaiheessa oli tiedossa, että sähköisellä kyselyllä voi tavoittaa suuren määrän oikeaa kohderyhmää sähköpostilistan ja Facebook-ryhmän kautta. Alustana kyselylomakkeelle käytettiin *Helsingin yliopiston E-lomakepalvelua* (https://elomake.helsinki.fi/). Kyselyn suunnitteluvaiheessa harkittiin myös *Google Forms* -alustaa. *Helsingin yliopiston E-lomakepalvelu* valittiin alustaksi, koska sen rakenne vaikutti paremmalta Likert-kysymyksille, ja koska sitä on käytetty aikaisemmin paljon *Helsingin yliopiston Kemian opettajankoulutusyksikön* pro gradu -tutkielmissa (Haatainen, 2014; Kabata, 2014).

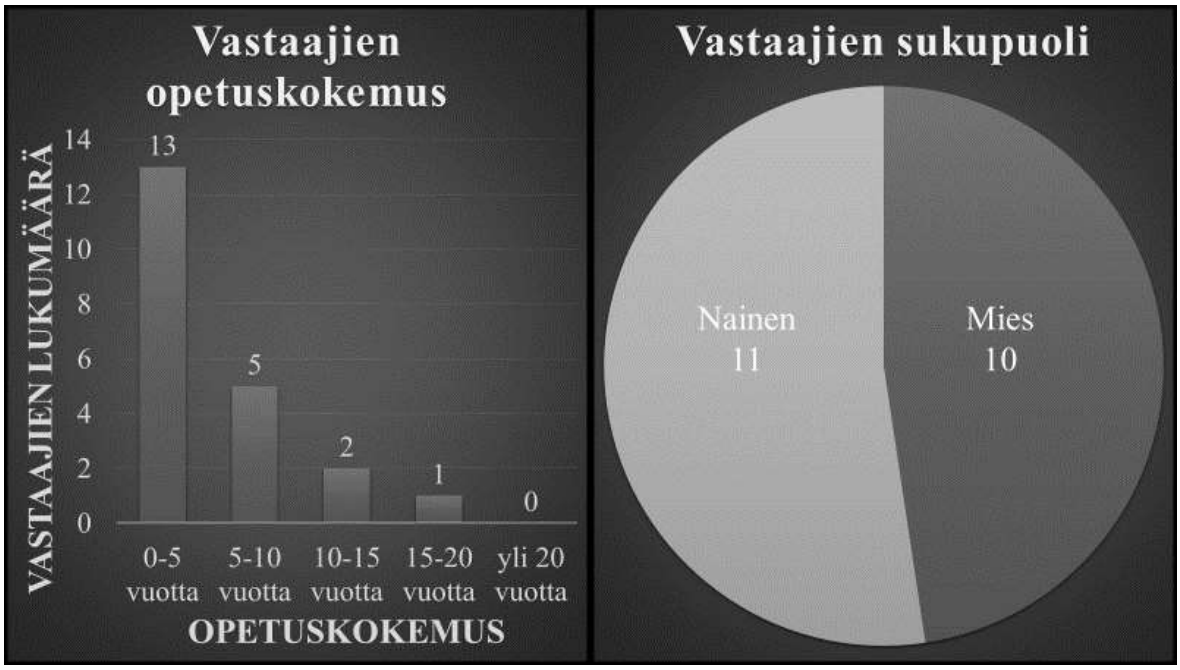
Kyselyn ensimmäinen saateviesti ja linkki kyselylomakkeeseen julkaistiin Helsingin yliopistossa kemian opettajaksi opiskelleiden alumnien sähköpostilistalla ja Facebookissa *Kemian opettajat -vertaisryhmässä* 20.11.2018. Näihin kanaviin lähetettiin toisenkin kerran saateviesti kyselylomakelinkkeineen, jotta vastaajia saataisiin enemmän. Uusi saateviesti julkaistiin *Kemian opettajat -vertaisryhmässä* 18.12.2018 ja alumnien sähköpostilistalla 20.12.2018. Lisäksi kyselylomakkeen www-osoite jaettiin 3.12.2018 noin 30 kemian opettajalle kemian opetuksen tapahtumassa tulostettuna papereille, joita jaettiin jokaiselle tapahtumaan osallistuneelle. Osallistujien hankinta alumnilistalta ja kemian opetuksen tapahtumasta tapahtui tutkielman ohjaajan välityksellä. Kyselyyn oli vielä 21.12.2018 vastannut vain 17 henkilöä. Vähäisen vastaajamäärän vuoksi tutkielman tekijä lähetti 21.12.2018 osallistumispyynnön *WhatsApp*-pikaviestisovelluksella viidelle tutulleen, joista neljä oli kemian opettajaksi opiskelevia ja yksi kemian opettaja, ja jotka kaikki tutkielman tekijä tunsi *Helsingin yliopissa* suoritettavien aineenopettajaopintojen kautta. Kyselyyn tuli tämän jälkeen neljä uutta vastausta. Tutkijan tuntemien henkilöiden osallistuminen kyselyyn heikentää tulosten luotettavuutta, koska tutut henkilöt saattavat pyrkiä antamaan sellaisia vastauksia, joita he uskovat tutkijan haluavan. Aineistonkeruu kyselyyn lopetettiin 23.12.2018. Vastauksia kertyi yhteensä 21 kappaletta. Kvantitatiivisen kyselyn otoskoon tulisi olla pilottitutkimuksissa vähintään 30 henkilöä. (Johanson & Brooks, 2010; Wolf, Joye, Smith, & Fu, 2016)

Kyselyyn tulleiden vastausten saapumisajankohdista voidaan päätellä, että 17 vastaajaa avasi kyselyn saateviestistä, jonka sai alumnien sähköpostilistalta tai Facebookin *Kemian opettajat* -vertaisryhmästä. *Kemian opettajat* -vertaisryhmä on suljettu Facebook-ryhmä, jonka jäseniksi halutaan vain kemian opettajia ja kemian opettajiksi opiskelevia. Ryhmän jäseneksi hyväksyminen edellyttää vastaamista pariin kysymykseen, joissa kysytään, onko jäsenhakija kemian opettaja tai kemian opettajaksi opiskeleva, ja missä vastaaja opettaa kemiaa tai opiskelee kemian opettajaksi. Vaikka ryhmän jäseneksi on mahdollista päästä valehtelemalla, voidaan kuitenkin olettaa, että lähes kaikki ryhmän jäsenet edustavat tutkimuksen perusjoukkoa. *Kemian opettajat* -vertaisryhmässä oli kyselyn toteuttamishetkellä hieman alle 1 200 jäsentä. Alumnien sähköpostilistalle kuuluu ainoastaan valmistuneita kemian opettajia. Sähköpostilistalla on yhteensä noin 70 jäsentä (J. Pernaa, yksityinen sähköpostiviesti, 2019), joista osan voidaan olettaa kuuluvan myös *Kemian opettajat* -vertaisryhmään Facebookissa. Siten tutkimuksen kohdejoukon kooksi voidaan arvioida noin 1200 henkilöä. (Kemian opettajat -vertaisryhmä, 2018)

Kyselyn otoskoko on 21. Tätä voidaan pitää kvantitatiivisen kyselyn kannalta liian pienenä otoskokona. Pieni otoskoko lisää satunnaisuuden vaikutusta tuloksiin, mikä pienentää tulosten luotettavuutta. Vastaajakatoa voidaan pitää hyvin suurena, kun otoskokoa verrataan jäsenmääriin alumnien sähköpostilistalla ja Facebookin *Kemian opettajat* -vertaisryhmässä. Suuren vastaajakadon vuoksi voidaan olettaa otoksen olevan vääristynyt siten, että osallistujat pitävät todennäköisesti astrokemiaa ja -biologiaa kiinnostavampina konteksteina opetukseen kuin keskivertojäsen näissä verkkoyhteisöissä tai perusjoukossa. Kyselyn aihe ja tarkoitus kerrottiin saateviesteissä. (Johanson & Brooks, 2010; Wolf ym., 2016)

Kyselyn tulosten käsittelyssä käytettiin apuvälineinä *Helsingin yliopiston E-lomakepalvelua* ja *Microsoft Excel* -taulukkolaskentaohjelmaa. Helsingin yliopiston E-lomakepalvelusta saatiin frekvenssien lisäksi mediaanit. Microsoft Excelillä laskettiin kvartiilipoikkeamat ja Cronbachin alfa-kerroin. Tutkielmassa esitetyt frekvenssikuvaajat on tehty Microsoft Excelillä ja niistä laaditut kuvat on viimeistelty *Microsoft PowerPointilla*.

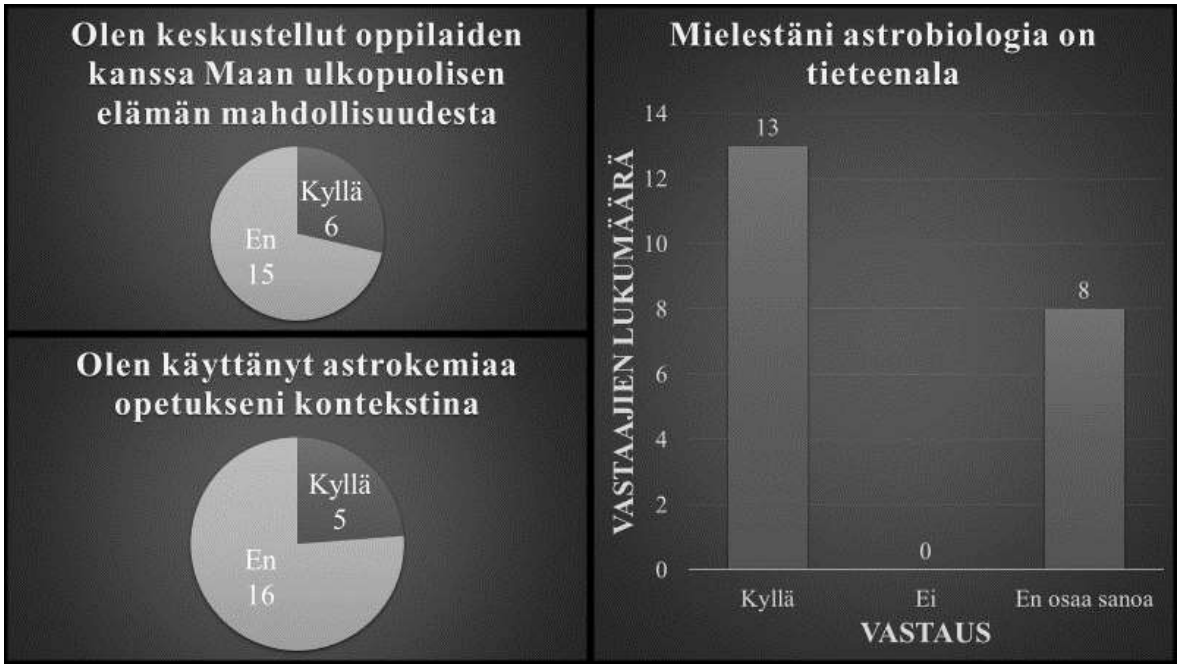
Kyselyyn osallistuneista 13 ilmoitti opetuskokemuksekseen 0–5 vuotta. Viidellä vastaajalla oli opetuskokemusta 5–10 vuotta. Vastaajista kahdella oli opetuskokemusta 10–15 vuotta ja yhdellä 15 – 20 vuotta. Perusjoukon opetuskokemusjakaumasta ei ole kovin varmaa tietoa. Olemassa olevan tiedon perusteella voidaan kuitenkin arvioida, että perusjoukolla on keskimäärin selvästi enemmän opetuskokemusta kuin otoksella. Vastaajista 11 oli naisia ja kymmenen miehiä. Perusjoukon sukupuolijakaumastakaan ei ole kovin luotettavaa tietoa. Naisten osuus voidaan kuitenkin arvioida perusjoukossa otosta suuremmaksi olemassa olevan tiedon pohjalta. Ikä- ja sukupuolijakaumaa alumnien sähköpostilistan tai Facebookin Kemian opettajat -vertaisryhmän jäsenistä ei ollut saatavilla. Voidaan kuitenkin arvioida, että kyselyn kohdejoukko on perusjoukkoa nuorempi ja kokemattomampi, koska nuoret ihmiset käyttävät aktiivisimmin sosiaalista mediaa (Tilastokeskus, 2014). Kuvaajat vastaajien opetuskokemuksen ja sukupuolen frekvenssijakaumista on esitetty kuvassa 7. (Hartonen & Ojala, 2014; Hopea-Manner, 2019)



Kuva 7: Kyselyn otoksen opetuskokemuksen ja sukupuolen frekvenssijakaumat

Kyselyyn osallistuneista kuusi oli keskustellut oppilaiden kanssa Maan ulkopuolisen elämän mahdollisuudesta. Viisi vastaajaa oli käyttänyt astrokemiaa opetuksensa kontekstina. Tarkennuskentässä kaksi vastaajaa kertoi käyttäneensä astrokemiaa

kontekstina spektroskopian opetuksen yhteydessä. Yksi vastaaja mainitsi kertoneensa oppilailleen timanttia sisältävän tähden löytymisestä. Yksi vastaaja kertoi käyttäneensä astrokemiaa kontekstina lukion koulukohtaisella syventävällä kurssilla. Viides astrokemiaa kontekstina käyttänyt mainitsi vain käyttäneensä sitä harvoin. Vastaajista 13 piti astrobiologiaa tieteenalana. Kahdeksan muuta vastaajaa ei osannut sanoa, onko astrobiologia tieteenala. Frekvenssijakaumat kyselylomakkeen astrokemiaa ja -biologiaa käsitteleviin taustatietokohtiin on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8: Otoksen taustatiedot tutkittavasta kontekstista

On vaikeaa arvioida, kuinka hyvin astrokemiaan ja -biologiaan liittyvät taustatiedot otoksesta vastaavat tutkimuksen kohde- ja perusjoukkoa. Huomionarvoista on, että neljä vastaajaa, jotka olivat käyttäneet astrokemiaa opetuksensa kontekstina, olivat sellaisia, joilla oli opetuskokemusta vähintään viisi vuotta. Tämä tarkoittaa joka toista vastaajaa, jolla oli opetuskokemusta vähintään viisi vuotta. On epätodennäköistä, että jopa puolet kemian opettajana vähintään viisi vuotta toimineista olisi käyttänyt astrokemiaa opetuksensa kontekstina, joten vastaajakadon voidaan olettaa vääristäneen otosta suhteessa tutkimuksen kohde- ja perusjoukkoon aiemmin kuvatulla tavalla. Otoksesta voisi myös päätellä, että lähes kaksi kolmasosaa kemian opettajista ja opettajaopiskelijoista tuntee astrobiologian ja pitää sitä tieteenalana. Tätäkin voidaan pitää hyvin epätodennäköisenä,

koska astrobiologian määritelmä kohtaa huonosti tavallisten ihmisten käsitykset siitä (Billings, 2009). Siten myös vastaukset astrobiologian tieteenalaisuutta käsittelevään kysymykseen viittaavat vastaajakadon vääristämään otokseen suhteessa tutkimuksen kohde- ja perusjoukkoon. Päätelmät otoksen vääristymästä suhteessa tutkimuksen kohde- ja perusjoukkoon ovat kuitenkin vahvasti spekulatiivisia, koska asiasta ei ole olemassa aiempaa tutkimustietoa.

4.2 Kemian opettajilta ja opettajaopiskelijoilta saadut kyselytulokset

Kyselyyn osallistuneet eivät pitäneet aiheiden ja työtapojen ideointia eheyttävään opetukseen erityisen haastavana, sillä vastausten mediaanit asettuivat ideoinnin helppoutta käsitteleviin lomakkeen kohtiin neutraaliin vastausvaihtoehtoon. Mediaanivastaaja oli jopa jokseenkin eri mieltä väitteestä, että on haastavaa ideoida aiheita monialaisiin oppimiskokonaisuuksiin kemian ja vähintään kahden muun oppiaineen välillä. Vastaajat kuitenkin kokivat, ettei opettajilla ole riittävästi aikaa monialaisten oppimiskokemusten suunnitteluun. Mediaanivastaajan mukaan internetistä tai oppikirjoista löytyy melko huonosti eheyttävään opetukseen sopivaa materiaalia. Mediaanivastaaja piti myös kemian tietojen kontekstualisointia oppikirjoissa jokseenkin yksipuolisena, joten kontekstipohjaisille materiaaleille on tarvetta opetuksessa. Tuloksista voidaan päätellä, että sekä oppisisältöä että työtapaohjeita sisältävälle eheyttävän opetuksen verkkomateriaalille on tarvetta. Tulokset ovat teorian pohjalta oletettuja, koska nykyinen perusopetuksen opetussuunnitelma on ensimmäinen, joka velvoittaa koulun järjestämään monialaisia oppimiskokonaisuuksia (Halinen & Jääskeläinen, 2015). Sen vuoksi eheyttävään opetukseen sopivia materiaaleja ei välttämättä ole vielä ehditty tekemään tarpeeksi. Taulukossa 5 on esitetty vastausten mediaanipisteet ja kvartiilipoikkeamat kyselylomakkeen eheyttävää opetusta käsittelevään osioon.

Taulukko 5. Tulokset eheyttävää opetusta käsitelleestä kyselyn osiosta

Väite	Vastausten mediaanipisteet (kvartiilipoik-keama)	Väite	Vastausten mediaanipisteet (kvartiilipoik-keama)
Työtapaohjeita eheyttävään opetukseen on saatavilla huonosti	4 (1)	On helppoa ideoida aiheita monialaisiin oppimiskokemuksiin	3 (2)
On helppoa ideoida työtapoja monialaisiin oppimiskokemuksiin	3 (2)	Internetistä löytyy helposti materiaalia, jota voi soveltaa eheyttävään opetukseen	2 (2)
Oppikirjoissa kemian tiedot kontekstualisoidaan yksipuolisesti	4 (1)	Oppikirjat tarjoavat paljon materiaalia eheyttävään opetukseen	2 (1)
Opettajilla ei ole riittävästi aikaa monialaisten oppimiskokemusten suunnitteluun	4 (2)	Internetistä löytyy helposti materiaalia, jota voi käyttää sellaisenaan eheyttävään opetukseen	2 (2)
Oppikirjat edistävät oppilaan kykyä siirtää luonnontieteellisiä tietoja kontekstista toiseen	3 (2)	On haastavaa ideoida aiheita monialaisiin oppiskokonaisuuksiin, joissa mukana on vähintään kaksi oppiainetta kemian lisäksi	2 (2)

Kyselyyn osallistuneet uskoivat hyvin vahvasti, että Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuudet kiinnostavat oppilaita. Myös Aurinkokunnan kemiallisen koostumuksen ja avaruusteeman yleisellä tasolla uskottiin melko vahvasti olevan oppilaita kiinnostavia aiheita. Vastaajat pitivät keskimäärin sekä astrokemiaa että astrobiologiaa melko hyvin kemian perusopetukseen sopivina konteksteina. Mediaanivastaaja koki, ettei näihin konteksteihin liittyvää oppimateriaalia ole saatavilla paljoa. Mediaanivastaaja ei kokenut kemian käsitteiden linkittämistä elämään ja sen monimuotoisuuteen haastavaksi, joten astrobiologiakonteksti ei ole sen suhteen kovinkaan tarpeellinen. Kokonaisuutena tulokset kertovat, että tarvetta on sekä astrokemiaa että astrobiologiaa käsittelevälle eheyttävän opetuksen materiaalille. Tulokset eivät ole ristiriidassa teorian kanssa, sillä tutkittavan kontekstin on todettu olevan sopiva opetukseen ja kiinnostavan oppilaita (esim. Arino de La Rubia ym., 2009; Lavonen ym., 2005). Taulukossa 6 on esitetty vastausten mediaanipisteet ja kvartiilipoikkemat astrokemiaa ja astrobiologiaa käsittelevään kyselylomakkeen osioon.

Taulukko 6. Tulokset astrokemiaa ja astrobiologiaa käsitelleestä kyselyn osiosta

Väite	Vastausten mediaani-pisteet (kvartiili-poikkeama)	Väite	Vastausten mediaani-pisteet (kvartiili-poikkeama)
Astrokemiaa voi käyttää kemian perusopetuksen kontekstina	4 (2)	Astrobiologiaa (Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia) voi käyttää kemian perusopetuksen kontekstina	4 (1)
Uskon, että Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuudet kiinnostavat oppilaita	5 (1)	Uskon, että Aurinkokunnan kemiallinen koostumus kiinnostaa oppilaita	4 (1)
Astrokemiaan liittyvää oppimateriaalia on saatavilla paljon	2 (2)	Astrobiologiaan liittyvää oppimateriaalia on saatavilla paljon	2 (2)
On vaikeaa linkittää opetuksessa kemian käsitteitä elämään ja sen monimuotoisuuteen	2 (1)	Avaruusteema kiinnostaa oppilaita	4 (1)

Kyselyn reliabiliteettia mittaavaksi Cronbachin alfa-kertoimeksi määritettiin sadasosien tarkkuudella 0,87. Tämän perusteella reliabiliteettia voidaan pitää hyvänä. Cronbachin alfa-kerrointa ei voida pitää täysin luotettavana reliabiliteetin mittarina. Reliabiliteetin laskennallisen arvioinnin luotettavuutta parantaa se, että Cronbachin alfa-kertoimen laskemisessa oli mukana myös käänteisesti muotoiltuja väitteitä. Cronbachin alfa-kertoimen laskeminen on esitetty tutkielman liitteissä (liite 3). Kyselyn validiteettia parantaa se, että lomakkeessa selvitettiin verkkomateriaalin tarvetta laajasti huomioimalla sen tarpeellisuus opettajalle, kiinnostavuus, uutuus ja hyödyllisyys opetuksessa. Kyselyn voidaan reliabiliteetin ja validiteetin perusteella katsoa antaneen tutkimuskysymyksen

kannalta luotettavaa tietoa otoksesta. Kyselyn luotettavuutta parantaa myös tutkielman tekijän aikaisempi kokemus menetelmästä (Eerola, Hartus, & Paavola, 2018; Hartus & Teittinen, 2018). Reliabiliteetti ja validiteetti eivät kuitenkaan paranna tulosten yleistämismahdollisuuksia otoksesta tutkimuksen kohde- ja perusjoukkoon. (Cronbach, 1951; Peterson, 1994; Wolf ym., 2016)

4.3 Yhteenveto

Empiirisellä ongelma-analyysillä I vastattiin tutkimuskysymykseen:

- Kuinka tarpeelliseksi kemian opettajat ja opettajaopiskelijat kokevat Maan ulkopuolisten elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevän verkkomateriaalin kemian eheyttävässä opetuksessa?

Tutkimusmenetelmänä käytettiin standardoitua surveytä eli kyselyä, joka toteutettiin sähköisesti. Kyselylomakkeen kentät liittyivät vastaajan taustatietoihin, eheyttävän opetuksen materiaalien yleiseen tarpeellisuuteen sekä astrokemian ja -biologian tarpeellisuuteen kemian perusopetuksen kontekstina. Kyselylomakkeessa käytettiin pääasiassa viisiportaista ordinaaliasteikkoa. (Valli, 2001)

Kyselyyn vastasi yhteensä vain 21 kemian opettajaa ja opettajaopiskelijaa, mikä tarkoittaa suurta vastaajakatoa, kun osallistumispyyntö tutkimukseen lähetettiin noin 1 200 henkilölle (Kemian opettajat -vertaisryhmä, 2019). Otosta ei voida pitää riittävän suurena kvantitatiiviseen tutkimukseen (Johanson & Brooks, 2010). Vastaajilla oli todennäköisesti keskimäärin perusjoukkoa vähemmän opetuskokomusta (Hartonen & Ojala, 2014; Hopea-Manner, 2019). Taustatietojen perusteella heidän arvioitiin olevan myös keskimäärin perusjoukkoa kiinnostuneempia tutkittavasta opetuksen kontekstista.

Vastaajat kokivat, että eheyttävän opetuksen materiaaleille on tarvetta, koska niitä on entuudestaan niukasti, ja koska opettajilla on huonosti aikaa eheyttävän opetuksen suunnitteluun. Sekä astrokemia että astrobiologia koettiin soveltuviksi ja oppilaita kiinnostaviksi kemian opetuksen konteksteiksi. Kyselyyn vastanneet kokivat, ettei astrokemiaan ja astrobiologiaan liittyviä materiaaleja ole ennestään paljoa. Tulokset olivat teoreettisen ongelma-analyysin perusteella oletettuja (Arino de La Rubia ym., 2009; Halinen & Jääskeläinen, 2015; Horodyskyj ym., 2018).

Empiirisen ongelma-analyysin luotettavuutta heikensi vastaajakato, joka johti pieneen ja todennäköisesti huonosti tutkimuksen kohdejoukkoa ja perusjoukkoa edustavaan otokseen. Validiteetti arvioitiin hyväksi, koska tutkimuskysymystä käsiteltiin monesta eri näkökulmasta. Laskennallisesti tutkimukselle saatiin hyvä reliabiliteetti. (Cronbach, 1951; Peterson, 1994; Wolf ym., 2016)

5 Kehittämisprosessi

Kehittämisprosessi alkoi kehittämistuotoksen aiheen rajauksella. Astrobiologiakonteksti rajattiin elämän esiintymismahdollisuuksiin Venus-planeetan pilvissä. Kontekstin rajaus yksittäiseen astrobiologian tutkimuskohteeseen tehtiin sen vuoksi, että astrobiologiaa on haastavaa tarkastella konkreettisella tasolla, joten on hyvä, että edes tarkasteltava kohde on konkreettinen. Tarkasteltavan kohteen on hyvä olla myös oppilaille tuttu. Sillä perusteella kohteeksi ei voitu valita eksoplaneettaa tai Aurinkokunnan jättiläisplaneetan kuuta, koska niitä ei käsitellä minkään oppiaineen perusopetuksen opetussuunnitelman mukaisissa sisällöissä. (Opetushallitus, 2016)

Taivaankappaleen tunnettavuuden perusteella kehittämistuotoksen aihevaihtoehdot kaventuivat Venuksen pilviin ja Marsiin, koska ne ovat ainoat Aurinkokunnan planetaariset kohteet, joissa Maan ulkopuolisen elämän esiintymistä pidetään mahdollisena. Valinta kohdistui Venuksen pilviin kahdesta syystä, jotka ovat:

1. Venuksen pilvet ovat Marsia tuntemattomampi astrobiologian tutkimuskohde, sillä Marsin mahdollista elämää on käsitelty paljon esimerkiksi massatiedotusvälineissä. Näin elämän mahdollinen esiintyminen Venuksen pilvissä haastaa voimakkaammin oppilaiden ennakkokäsitykset ja voi siten aktivoida oppimisen.
2. Tutkielman kirjoittajalla on enemmän aiemmin hankittua asiantuntijuutta Venuksen pilvistä kuin Marsista, koska hän on tehnyt kandidaatintutkielmana kirjallisuuskatsauksen elämän esiintymismahdollisuuksista Venuksen pilvissä (Hartus, 2018).

Verkkomateriaalin laadinta aloitettiin kesäkuussa 2018. Alustaksi verkkomateriaalille valittiin *WordPress* (https://wordpress.com/). Alustan valintaan vaikutti sen maksuttomuus ja tunnettavuus. Sitä on käytetty aikaisemmin Helsingin yliopiston Kemian opettajankoulutusyksikön pro gradu -tutkielmissa, joissa on kehitetty verkkomateriaaleja kemian opetukseen (esim. Asikainen, 2016; Haatainen, 2014). Muita alustoja ei kokeiltu. Niiden käyttömahdollisuuksia kuitenkin selvitettiin hakemalla tietoa maksuttomista kotisivukoneista.

Luvussa 5.1 esitellään kehittämistuotoksen opetuskäytölle määritettävät oppimistavoitteet ja kohderyhmän rajaus. Luvussa 5.2 esitellään verkkomateriaalin oppisisällön kehittämistä. Luvussa 5.3 kuvataan verkkomateriaalin muiden resurssien kehittämistä. Luku 5.4 on yhteenveto kehittämisprosessista.

Tässä luvussa aloitetaan vastaaminen kehittämistuotoskategorian tutkimuskysymykseen. Luku 5.2.3 on keskiössä tämän tutkimuskysymyksen kannalta. Kehittämistuotoskategorian tutkimuskysymys on:

- Millaiset hypermediasisällöt soveltuvat Venuksen pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevään verkkomateriaaliin, jota voidaan käyttää sen oppisisällölle määritettyjen oppimistavoitteiden mukaisesti kemian eheyttämiseen fysiikan ja biologian kanssa perusopetuksen yhdeksännellä luokalla?

5.1 Oppimistavoitteet ja kohderyhmä

Teoreettisessa ongelma-analyysissä tuli esille useita Maan ulkopuolisen elämän esiintymiskäytön tutkimuskontekstin opetuskäytön mahdollisuuksia. Näiden pohjalta verkkomateriaalin opetuskäytölle määriteltiin oppimistavoitteiksi:

1. Tutustua luonnontieteiden poikkitieteelliseen nykytutkimukseen
2. Oppia luonnontieteellistä kieltä ja argumentaatiota
3. Ymmärtää mallien ja ennusteiden merkitystä kemiassa

Ensimmäinen oppimistavoite on luonteva verkkomateriaalille, joka on suunnattu kemian eheyttävään opetukseen ja tarkastelee luonnontieteen erästä nykytutkimuksen aihetta. Esimerkiksi Rodrigues ja Carrapiço (2006) sekä Staley (2003) näkemysten perusteella oppimistavoite on sopiva, koska heidän mukaansa Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskonteksti on oppilaita kiinnostava tapa tutustua luonnontieteen nykytutkimukseen. Ensimmäinen oppimistavoite on selvästi yhteydessä opetussuunnitelmaan, sillä sen mukaan kemian opetuksessa tulisi tutustua vuosiluokilla 7–9 kemian nykytutkimukseen. Oppimistavoite on suoraan yhteydessä perusopetuksen opetussuunnitelman kemian tavoitteeseen *T15*. (Opetushallitus, 2016)

Toinen oppimistavoite valittiin, koska teoreettinen ongelma-analyysi antoi tuloksia, joiden perusteella tavoite sopii verkkomateriaalin kontekstiin hyvin. Oliver ja Fergusson (2007) pitävät mahdollisena, että Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskonteksti on hyvä tapa opettaa luonnontieteen kieltä. Oliveira (2008) taas näkee, että Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin avulla voidaan opettaa kriittistä ajattelua, joka on argumentoinnin keskeinen edellytys. Luonnontieteellisen kielen merkitys korostuu verkkomateriaalissa, koska sen abstraktia aihetta ei voida kuvata arkikielellä. Tämän vuoksi luonnontieteen kieli näkyy voimakkaasti verkkomateriaalissa. Luonnontieteellisen kielen ja argumentaation oppiminen on yhteydessä perusopetuksen vuosiluokkien 7–9 kemian tavoitteisiin *T10*, *T12* ja *T13* (Opetushallitus, 2016).

Kolmas oppimistavoite muotoiltiin sen perusteella, että Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstia käsittelevissä verkko-opetuskokeiluissa on hyödynnetty aiemmin paljon malleja (esim. Horodyskyj ym., 2018). Mallien käyttäminen sopii erittäin hyvin verkkomateriaaliin, koska sen abstraktin aiheen oppimista voidaan tukea käyttämällä malleja (esim. Pernaa ym., 2017). Venuksen kaasukehän kemiaan liittyvillä ennusteilla taas on ollut keskeinen merkitys, kun hypoteesia elämän esiintymisestä siellä on muotoiltu ja selitetty, joten ennusteet näkyvät mallien tavoin selkeästi verkkomateriaalin oppisisällössä (Cockell, 1999; Schulze-Makuch & Irwin, 2002). Tämä verkkomateriaalin opetuskäytön oppimistavoite on yhteydessä suoraan perusopetuksen opetussuunnitelman kemian tavoitteisiin *T11* ja *T13* sekä välillisesti kemian tavoitteeseen *T14* (Opetushallitus, 2016).

Verkkomateriaalin kohderyhmäksi valittiin yhdeksäsluokkalaiset. Heidät katsottiin sopivaksi kohderyhmäksi, koska verkkomateriaalin kontekstia ei voida tarkastella makroskooppisella tasolla sen abstraktiuden vuoksi. Perusopetuksen opetussuunnitelman mukaan kemian opetuksen pääpainon tulisi olla makroskooppisella tasolla. Submikroskooppisen ja symbolisen tason osuutta vahvistetaan kemian opetuksen edetessä. Tästä syystä päätettiin, että verkkomateriaali sopii tarkasteltavaksi vasta yhdeksännellä luokalla, jolla opetus on jo siirtynyt enemmän kemian abstraktimmille tasoille. Verkkomateriaalin käyttömahdollisuuksia lukiossa ei arvioida tässä tutkielmassa, koska teoreettinen ongelma-analyysi päätettiin rajata perusopetukseen. (Opetushallitus, 2016)

Kohderyhmän huomioimiseksi tehtiin päätöksiä verkkomateriaalin oppisisällön raskaudesta ja haastavuudesta. Yhteen oppisisältöartikkeliin tulevan tekstin sanamäärä pyrittiin rajaamaan alle 300 sanaan. Verkkomateriaalin kielessä pyrittiin innostavuuteen asianmukaisissa rajoissa. Käsitteet pyrittiin selittämään mahdollisimman helposti ymmärrettävällä tasolla. Tekstiin ei lisätty viitteitä, jotta sitä olisi helpompi lukea. Kuvia ja animaatioita pyrittiin käyttämään mahdollisimman paljon, jotta tekstin abstraktia sisältöä saadaan havainnollistettua visualisoimalla. Teksti pyrittiin saamaan mahdollisimman sidonnaiseksi kuviin ja animaatioihin. Samalla tekstissä kuitenkin päätettiin olla suoraan viittaamasta näihin, jotta tekstiä ei tulisi liikaa.

5.2 Oppisisältö

Verkkomateriaalin oppisisällön laatimisessa käytettiin ensisijaisena lähteenä tutkielman tekijän kandidaatintutkielmaa (Hartus, 2018). Oppisisältö jaettiin kolmeen osaan. Verkkomateriaalin oppisisältöosat vastaavat kysymyksiin:

1. Mitä on Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimus eli astrobiologia?
2. Millainen kohde on Venuksen pilvet?
3. Mitkä ovat elämän esiintymismahdollisuudet Venuksen pilvissä?

Kolmannen kysymyksen alla on verkkomateriaalin pääasiallinen oppisisältöosa. Jotta sitä voisi käsitellä mielekkäästi, on tunnettava yleisesti myös sen taustalla olevaa tieteenalaa ja tarkasteltavaa kohdetta. Näitä tarkastelevat kahden ensimmäisen kysymyksen alle laadittavat oppisisältöosat. Oppisisältöosat ovat yhteydessä empiirisen ongelma-analyysin I tuloksiin, koska tarvetta koettiin sekä Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia että pelkkää astrokemiaa käsittelevälle sisällölle. Toinen ja kolmas oppisisältöosa jaettiin pienempiin alaosiin eli artikkeleihin, koska niihin tulevaa sisältöä on paljon.

Verkkomateriaaliin oppisisällön pääpaino on kemiassa. Kemian sisältöjen valinta kuvataan luvussa 5.2.1. Muiden oppiaineiden sisältöjen valinta kuvataan luvussa 5.2.2. Oppisisältö esitetään verkkomateriaalissa hypermediamuodossa. Luvussa 5.2.3 kerrotaan, millä tavalla hypermedia näkyy verkkomateriaalin oppisisällössä.

5.2.1 Kemian sisällöt

Teoreettisen ongelma-analyysin perusteella kemian sisällöt astrobiologiakontekstissa voidaan jakaa kolmeen osaan. Nämä sisältöluokat ovat elämän kemialliset edellytykset, elämän syntyyn liittyvää kemia ja kemialliset merkit elämästä. Kehittämistuotoksen varsinaisten astrobiologian sisältöjen on siis jollakin tavalla liityttävä niihin. Astrobiologian kolmen sisältöluokan lisäksi kehittämistuotokseen päätettiin ottaa myös puhtaasti astrokemiaan liittyvää tietoa Venuksesta. Näin kemian oppisisällölle muodostui yhteensä neljä sisältöluokkaa. Nämä sisältöluokat ja niihin kuuluva sisältö kemian käsitteineen on esitetty taulukossa 7.

Taulukko 7. Verkkomateriaalin kemian oppisisällöt sisältöluokittain (Benner ym., 2004; Chopra ym., 2009; Cockell, 1999; Gottschalk, 2012; Schulze-Makuch & Irwin, 2002; Williams, 2016; Zhang ym., 2012)

Sisältöluokka	**Sisältöluokkaan kuuluvan sisällön erittely**	**Sisältöön liittyvät kemian käsitteet**
Elämän kemialliset edellytykset	• Nestemäinen vesi tunnetun elämän perusedellytyksenä ja sen esiintyminen Venuksen pilvissä • Maan elämälle välttämättömät alkuaineet ja muut biologisessa käytössä olevat alkuaineet sekä niiden esiintyminen Venuksen pilvissä, kaasukehässä tai kuoressa • Yhdisteet, joita tunnettu elämä käyttää välttämättömien alkuaineiden lähteinä, ja niiden esiintyminen Venuksen pilvikerroksessa • Happamuuden vaikutus elämän esiintymismahdollisuuksiin • Alhaisen vesipitoisuuden vaikutus elämän esiintymismahdollisuuksiin • Rikkihapon mahdollisuus toimia vaihtoehtoisen biokemian liuottimena	Olomuoto, neste, liuotin, alkuaine, metalli, yhdiste, happamuus, pH, pitoisuus, (vahva) happo
Elämän synnyn kemia	• Tunnetun elämän synnylle välttämättömät alkuaineet • Elämän alkuperä Venuksen pilvissä	Alkuaine

Taulukko 7 (jatkuu). Verkkomateriaalin kemian oppisisällöt sisältöluokittain (Benner ym., 2004; Chopra ym., 2009; Cockell, 1999; Gottschalk, 2012; Schulze-Makuch & Irwin, 2002; Williams, 2016; Zhang ym., 2012)

Sisältöluokka	Sisältöluokkaan kuuluvan sisällön erittely	Sisältöön liittyvät kemian käsitteet
Kemialliset merkit elämästä	• Selittämätön säteilyn absorptio Venuksen pilvissä ja sen yhteys fotosynteesireaktioihin • Yhdisteiden pitoisuuksien poikkeamat laskennallisista malleista ja sen selittäminen mahdollisilla kemosynteesireaktioilla	Absorptio, kemiallinen reaktio, yhteyttäminen, yhdiste, eksoterminen reaktio
Venuksen kemiallinen koostumus	• Venuksen pilvien ja kaasukehän yleisimmät ja astrobiologiakontekstin kannalta kiinnostavimmat komponentit • Rikkihapon muodostuminen Venuksen pilviin • Tieto metallien esiintymisestä Venuksen kuoressa ja epävarmat metallihavainnot kaasukehässä	Alkuaine, yhdiste, seos, kaasuseos, liuos, olomuoto, kiinteä, neste, kaasu, kemiallinen reaktio, metalli

Verkkomateriaalin kemian sisältöihin otettiin yhteensä kuusi reaktiota. Nämä on esitetty reaktioyhtälöissä 1–6. Reaktioyhtälö 1 kuvaa rikkihapon muodostumista Venuksen pilvikerroksessa. Reaktioyhtälöt 2 ja 3 kuvaavat Maan eliöiden käyttämien fotosynteesien nettoreaktioita. Reaktioyhtälö 4 kuvaa sulfaattihengitystä. Reaktioyhtälöt 5 ja 6 kuvaavat hypoteettisia kemosynteesinettoreaktioita, joita on ehdotettu Venuksen pilvissä mahdollisesti eläville organismeille. (Cockell, 1999; Schulze-Makuch & Irwin, 2002; Zhang ym., 2012)

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 \quad (1)$$

$$6\ CO_2 + 6\ H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 \quad (2)$$

$$6\ CO_2 + 12\ H_2S \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 12\ S + 6\ H_2O \quad (3)$$

$$4\ CO + H_2SO_4 \rightarrow 4\ CO_2 + H_2S \quad (4)$$

$$H_2 + 2\ CO + SO_2 \rightarrow H_2S + 2\ CO_2 \quad (5)$$

$$3\ CO + SO_2 \rightarrow COS + 2\ CO_2 \quad (6)$$

5.2.2 Muiden oppiaineiden sisällöt

Koska verkkomateriaali on tarkoitettu kemian horisontaaliseen eheyttämiseen perusopetuksen vuosiluokilla 7–9, sen sisällössä näkyy myös perusopetuksen opetussuunnitelman muiden oppiaineiden kuin kemian sisältöalueita ja tavoitteita. Tässä luvussa kerrotaan, miten verkkomateriaalin oppisisältö on yhteydessä fysiikan ja biologian perusopetuksen opetussuunnitelman sisältöalueisiin. Verkkomateriaaliin päätettiin ottaa yksi Venuksen tutkimuksen historiaa käsittelevä artikkeli. Sitä ei kuitenkaan tässä tutkielmassa integroida perusopetuksen opetussuunnitelmaan, koska historian rooli verkkomateriaalissa jää selvästi kemiaa, fysiikkaa ja biologiaa pienemmäksi.

Perusopetuksen opetussuunnitelman fysiikan tavoitteet ja sisältöalueet ovat erittäin samankaltaisia kuin kemian. Usein vain sanan kemia tilalla on fysiikka. Verkkomateriaalissa käsitellään perusopetuksen fysiikkaan kuuluvista aiheista lämpöilmiöitä ja säteilyä. Lämpöilmiöitä käsitellään kerrottaessa Venuksen kaasukehän ja pilvien rakenteesta sekä säteilystä eliöiden energianlähteenä ja elämän esiintymismahdollisuuksia pienentävänä tekijänä (Dartnell ym., 2015; Hunten, 1983; Limaye ym., 2018; Schulze-Makuch ym., 2004; Williams, 2016; Zhang ym., 2012). Lämpöilmiöt ja säteily on mainittu fysiikan sisältöalueessa *S2 Fysiikka omassa elämässä ja elinympäristössä*, jonka nimi ei kovinkaan suoraan linkity verkkomateriaalin aiheeseen. Sivuston avulla voidaan tutustua opetussuunnitelman sisältöalueen *S4 Fysiikka*

maailmankuvan rakentajana mukaisesti energian säilymisen periaatteeseen, fysiikan nykytutkimukseen ja luonteeseen sekä maailmankaikkeuden rakenteeseen ja mittasuhteisiin. Verkkomateriaalin sisällössä kuvatut eliöiden energiametaboliat havainnollistavat energian säilymisen periaatetta. Sisältöaluetta *S5 Vuorovaikutus ja liike* sivutaan hieman gravitaation muodossa esittämällä planeetan koon yhteys elämän esiintymismahdollisuuksiin ja kertomalla asteroidi-impaktien tuhoisista vaikutuksista elämälle. Kyseistä sisältöaluetta sivutaan myös kertomalla Venuksen liikkeestä ja pilvikerroksen kiertoliikkeestä Venuksen ympärillä. Sisältöaluetta *S6 Sähkö* sivutaan esittelemällä, että planeetan magneettikenttä estää Auringon hiukkassäteilyn pääsemisen planeetan kaasukehään. (Cockell, 2015; Hanslmeier, 2013; Opetushallitus, 2016)

Verkkomateriaalin avulla pyritään syventämään universaalille tasolle oppilaan ymmärrystä biologian perusopetuksen sisältöalueesta *S4 Mitä elämä on?* Kyseistä sisältöaluetta lähestytään kemian näkökulmasta esittelemällä elämää kemiallisena prosessina ja kertomalla sen aineellisista edellytyksistä. Sivuston avulla voidaan havainnollistaa eliökunnan rakennetta ja monimuotoisuutta sekä eliöiden sopeutumista erilaisiin elinympäristöihin, mikä on biologian tavoitteiden suuntaista toimintaa perusopetuksen vuosiluokilla 7–9. Eliökunnan rakenteesta sivusto käsittelee mikrobeja. Eliöiden monimuotoisuutta käsitellään esimerkiksi erilaisten energiametabolioiden avulla ja vaihtoehtoisen biokemian spekuloinnilla. Verkkomateriaalin avulla ilmenee Maan eliöiden sopeutumiset korkeuksiin kaasukehässä, mataliin pH-arvoihin ja vesipitoisuuksiin sekä korkeisiin paineisiin, lämpötiloihin ja ionisoivan säteilyn määriin. (Cockell, 2015; Hanslmeier, 2013; Opetushallitus, 2016)

5.2.3 Hypermedia oppisisällössä

Teoreettisessa ongelma-analyysissä ilmeni, että Maan ulkopuolisen elämän tutkimuskontekstin opetuskäytön haasteena on oppisisällön abstraktius (Aikenhead, 2006). Tähän haasteeseen vastattiin kiinnittämällä erityistä huomiota verkkomateriaalin oppisisällön visualisointiin. Teoreettisessa ongelma-analyysissä selvisi myös, että kemian

opetus on vertikaalisesti eheää, kun kaikki kemian tasot ovat mukana (Hellström, 2008; Johnstone, 2000). Visualisoinnissa otettiin huomioon kaikki kemian tasot. Visualisoinnissa kiinnitettiin erityisesti huomiota malleihin, koska verkkomateriaalille asetettiin oppimistavoitteeksi ymmärryksen lisääminen malleista ja ennusteista. Kuvien lisäksi verkkomateriaalin visualisoinnissa hyödynnettiin animaatioita. Teoreettisessa ongelma-analyysissä todettiin, että animaatiot ovat tehokas tapa saada oppilaiden huomio ja herättää heidän kiinnostuksensa (Schwartz ym., 2013). Animaatiot myös sopivat hyvin kemian dynaamisten ilmiöiden kuvaamiseen submikroskooppisella tasolla (Falvo, 2008; Tasker & Dalton, 2008).

Verkkomateriaalin visualisoinneissa tehtiin kahdenlaista integraatiota. Ensinnäkin kemian tasoja integroitiin toisiinsa (Johnstone, 2000). Toiseksi eri tiedonalojen sisältöjä sekä malli- ja visualisointityyppejä integroitiin keskenään. Kemian tasojen integroinnilla vahvistettiin verkkomateriaalin vertikaalista eheyttä. Ongelmana kemian tasojen integroinnissa on se, että makroskooppinen taso ja molekyylit esitetään tällaisissa visualisoinneissa väärässä mittasuhteessa. Tämä voi mahdollisesti aiheuttaa oppilaille virhekäsityksiä. Eri tiedonalojen visualisointityyppien integraatiolla vahvistettiin verkkomateriaalin horisontaalista eheyttä. Eri tiedonalojen visualisointityyppien integroinnin tärkeyttä alleviivaa se, että verkkomateriaalin opetuskäytölle määritettiin oppimistavoitteeksi luonnontieteen poikkitieteelliseen nykytutkimukseen tutustuminen. Mallien käytön on todettu tukevan oppilaan ymmärrystä kemiasta nykyaikaisena tieteenä (Pernaa ym., 2017). Eri tiedonalojen visualisointien integrointia on käytetty aikaisemmin onnistuneesti Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin opetuskäytössä (Horodyskyj ym., 2018). (Hellström, 2008)

Verkkomateriaalin molekyylimallit laadittiin *Edumol*- ja *MolView*-ohjelmilla (http://edumol.fi/ ja http://molview.org/). Molekyylimallien pääasialliseksi tyypiksi valittiin pallotikku, koska se on yleisimmin käytetty mallityyppi molekyylien kolmiulotteisesta rakenteesta. Kolmessa animaatiossa käytettiin rinnakkain pallotikku-, putki- ja kalottimalleja samasta molekyylistä, koska mallityyppien rinnakkainen käyttö lisää oppilaan ymmärrystä käsitteestä malli. (Pernaa ym., 2017) Sivuston kuvissa ja animaatioissa käytettiin pohjana valmiita internetkuvia. Muualta otettujen kuvien

alkuperäisen version www-osoite mainitaan asianmukaisesti verkkomateriaalissa. Kuvien laadinnassa käytettiin *Edumolin* ja *Molviewin* lisäksi *Microsoft PowerPointia* ja *Microsoft Exceliä*. Animaatioissa käytettiin edellisten lisäksi *GIFMaker.me*-verkkosovellusta (https://gifmaker.me/). Animaatioiden laatimisen yhteydessä huomattiin *WordPress*-alustaan liittyvä heikkous, kun animaatioiden laatu heikkeni niiden lataamisen jälkeen. Animaatioiden laadun ei kuitenkaan katsottu heikenneen niin ratkaisevasti, että kehittämisprosessiin oltaisiin lähdetty tekemään muutoksia.

Koska alkuaineet näkyvät voimakkaasti verkkomateriaalin oppisisällössä, verkkomateriaaliin tehtiin alkuaineisiin liittyen jaksollinen järjestelmä, jossa alkuaineita luokitellaan Maan eliöiden biologisen käytön perusteella erilaisilla väreillä Chopran ja muiden (2009) teorian mukaan. Jaksollisessa järjestelmässä alkuaineista esitetään vain niiden kemiallinen tunnus ja järjestysluku. Visualisoinnilla integroidaan kemiaa ja biologiaa. Alkuaineiden luokiksi jaksollisessa järjestelmässä tulivat:

- Kaikille Maan eliöille välttämätön alkuaine, joka on nykykäsityksen mukaan ollut välttämätön elämän synnylle Maassa
- Osalle Maan eliöistä välttämätön alkuaine, joka on nykykäsityksen mukaan ollut välttämätön elämän synnylle Maassa
- Osalle Maan eliöistä välttämätön alkuaine, joka ei nykykäsityksen mukaan ollut välttämätön elämän synnylle Maassa
- Alkuaine, joka ei ole välttämätön yhdellekään Maan eliölle

Alkuaineisiin liittyen verkkomateriaaliin päätettiin myös laatia kuva taulukosta, jossa esiintyvät kaikille Maan eliöille välttämättömät alkuaineet ja epäorgaaniset yhdisteet, joita Maan bakteerit käyttävät niiden lähteinä (Gottschalk, 2012). Taulukosta ilmenee, mitä näistä yhdisteistä on havaittu Venuksen pilvissä (Cockell, 1999; Williams, 2016). Taulukossa alkuaineet ja yhdisteet esitetään nimillä ja kemiallisilla tunnuksilla. Jaksollisen järjestelmän tavoin tälläkin visualisoinnilla integroidaan kemiaa ja biologiaa.

Kahdessa verkkomateriaalin visualisoinnissa päätettiin kuvata kemian sisällöistä ainoastaan yhdisteitä. Näistä ensimmäinen on animaatio, jossa on esitetty Venuksen kaasukehän komponentit, joiden määriä on pidetty kemiallisina merkkeinä elämästä. Kyseiset yhdisteet esitetään animaatiossa molekyylimalleina vaihtuvalla mallityypillä, nimillä ja kemiallisilla tunnuksilla. Tarkoituksena tässä visualisoinnissa on ollut integroida kemian submikroskooppista ja symbolista tasoa (Johnstone, 2000). Toinen visualisointi on kuva, jossa kemiaa on integroitu biologiaan. Tässä kuvassa on piirros solusta, joka vastaanottaa ympäristöstään hiilimonoksidia ja vapauttaa ympäristöönsä rikkivetyä. Yhdisteiden siirtyminen solun ja ympäristön välillä on kuvattu nuolilla, joiden yhteydessä on hiilimonoksidin ja rikkivedyn nimet ja kemialliset tunnukset. Visualisoinnin oppisisällöllinen asianyhteys on kuvata, kuinka elämä voi vaikuttaa yhdisteiden määriin ympäristössään. (Cockell, 1999; Schulze-Makuch & Irwin, 2002)

Seosten läsnäolo verkkomateriaalin oppisisällössä johti päätökseen neljän visualisoinnin kehittämisestä. Näistä ensimmäinen on kuva, jossa on esitetty piirros pilvipisarasta. Sen sisälle on lisätty molekyylimalleja rikkihaposta ja vedestä seososuuksia havainnollistavassa suhteessa (Dartnell ym., 2015). Pilvipisaran ympärille on lisätty molekyylimalleja hiilidioksidista ja typestä kaasukehän seososuuksia havainnollistavassa suhteessa (Williams, 2016). Tässä kuvassa kemian makroskooppista tasoa edustaa pilvipisara ja submikroskooppista tasoa molekyylimallit. Toinen seoksiin liittyvä visualisointi on kuva, jolla havainnollistetaan rikkihapon ja veden pyrkimystä sekoittumiseen. Asianyhteys kuvalle on spekulaatio siitä, voiko elämä Venuksen pilvissä käyttää biologisena liuottimena vettä (Schulze-Makuch & Irwin, 2002). Kuvassa on esitetty piirros pilvipisarasta, jonka sisällä on solu. Solun sisällä olevan veden pyrkimystä sekoittua pilvipisaran rikkihapon kanssa on havainnollistettu nuolilla, joiden yhteyteen on laitettu rikkihapon ja veden nimet ja kemialliset tunnukset. Kuvassa integroidaan kemian makroskooppista ja symbolista tasoa sekä kemian ja biologian representaatioita. (Johnstone, 2000)

Kolmannessa ja neljännessä seosvisualisoinnissa on esitetty pylväsdiagrammeina Venuksen kaasukehän komponenttien suhteellisia seososuuksia. Toisessa näistä on esitetty Venuksen kaasukehän kaksi pääkomponenttia ja toisessa seososuudeltaan kuusi

seuraavaksi suurinta komponenttia. Nämä visualisoinnit ovat muodoltaan animaatioita, joissa pylväiden yhteyteen on lisätty molekyylimallit vaihtuvilla mallityypeillä. Vaihtuvan molekyylimallin lisäksi kunkin pylvään esittämä komponentti on kuvattu visualisoinneissa nimellä ja kemiallisella tunnuksella. Pylväsdiagrammianimaatioiden taustoina on käytetty taiteilijoiden luomia visualisointeja maisemasta Venuksen pinnalla. Siten kyseisissä animaatioissa integroidaan kaikkia Johnstonen (2000) tasoja sekä kemian malleja tilastolliseen ja taiteelliseen visualisointiin. (Williams, 2016)

Luvussa 5.2.1 kerrottiin, että verkkomateriaalin kemian oppisisältöön kuuluu yhteensä kuusi kemiallista reaktiota (reaktioyhtälöt 1–6). Verkkomateriaaliin päätettiin laatia kuusi kemiallista reaktiota kuvaavaa visualisointia. Kaikista oppisisältöön kuuluvista reaktioista esitettiin verkkomateriaalin kuvissa reaktioyhtälöt, joissa reaktion lähtöaineet ja tuotteet on esitetty nimillä, kemiallisilla kaavoilla ja molekyylimalleilla. Yhteensä reaktioyhtälökuvia tuli verkkomateriaaliin neljä. Tämä johtui siitä, että fotosynteesireaktioyhtälöt (reaktioyhtälöt 2 ja 3) esitettiin molemmat yhdessä kuvassa, kuten myös hypoteettiset kemosynteesireaktiot (reaktioyhtälöt 5 ja 6). Venuksen pilvien muodostumisreaktiota (reaktioyhtälö 1) kuvaavaan reaktioyhtälökuvaan integroitiin taiteellista visualisointia lisäämällä sen taustaksi taidekuva Venuksen pilvistä. Tässä kuvassa saatiin näin integroitua kaikki kemian tasot. Muissa reaktioyhtälökuvissa integroidaan vain symbolista ja submikroskooppista tasoa. (Cockell, 1999; Johnstone, 2000; Schulze-Makuch & Irwin, 2002; Zhang ym., 2012)

Venuksen pilvien muodostumisreaktiosta ja sulfaattihengityksestä (reaktioyhtälö 4) laadittiin reaktioyhtälökuvien lisäksi myös animaatiot, joissa reaktioiden tapahtuminen kuvataan molekyylimalleilla. Venuksen pilvien muodostumista kuvaavassa animaatiossa esitetään etenevän reaktion lisäksi myös reaktion käänteinen suunta syklisenä mallina. Animaation taustana on piirros Venuksen pilvikerroksesta. Syklinen malli etenevästä ja käänteisestä reaktiosta on kuvattu sekä pilvikerroksen ylärajaan että alarajaan. Molempiin syklisiin tasapainoreaktiomalleihin on lisätty niiden sisältöä selittävää tekstiä. Pilvikerroksen alarajassa tapahtuvaa sykliä selittävässä tekstissä mainitaan, että korkea lämpötila hajottaa rikkihapon pilvikerroksen alapuolella. Pilvikerroksen ylärajassa tapahtuvaa sykliä selittävässä tekstissä mainitaan, että säteily hajottaa rikkihapon

pilvikerroksen yläpuolella. Animaatiossa integroidaan kemian makroskooppista ja submikroskooppista tasoa (Johnstone, 2000). Sulfaattihengityksestä esitettiin animaatio, jossa reaktio tapahtuu kaksivaiheisena molekyylimalleilla. Näin pyrittiin kuvaamaan reaktion monivaiheisuutta yksinkertaistetulla tasolla. Animaation taustana on piirros solusta, jonka sisällä reaktion molemmat vaiheet tapahtuvat. Sulfaattihengityksen lähtöaineet tulevat animaatiossa ympäristöstä soluun ja reaktiotuotteet vapautuvat solusta ympäristöön. Animaatioon on lisätty sen sisältöä selittävää tekstiä. Tässä animaatiossa integroidaan kemian ja biologian representaatioita. (Cockell, 1999; Zhang ym., 2012)

Kemian ja fysiikan perusopetuksen opetussuunnitelman mukaisiin sisältöihin kuuluvia luonnon mittasuhteita päätettiin havainnollistaa kolmella kuvalla (Opetushallitus, 2016). Ensimmäisessä näistä on esitetty astrobiologian tutkimuksen kannalta kiinnostavat Aurinkokunnan taivaankappaleet likimain oikeassa mittasuhteessa toisiinsa nähden. Toisessa kuvassa on esitetty samalla tavalla Aurinkokunnan planeetat ja Kuu. Tästä kuvasta selviää myös Aurinkokunnan rakenne. Kolmannessa kuvassa on piirros Venuksen pilvipisarasta, johon on lisätty tieto sen halkaisijasta (Dartnell ym., 2015). (Cockell, 2015; Wilkinson, 2016)

Venuksen kaasukehän rakennetta päätettiin havainnollistaa kolmella visualisoinnilla. Ensimmäinen näistä on kuva, jossa on esitetty Venuksen kaasukehän kerrokset ja niiden korkeudet. Toinen näistä on animaatio, jossa on esitetty kuvaaja Venuksen kaasukehän korkeudesta lämpötilan funktiona. Visualisointiin on animoitu siirtyvä datapiste kuvaajalle. Tällä pyrittiin helpottamaan kuvaajan tulkintaa. Kuvaajaan on integroitu konkretiaa lisäämällä siihen piirros Venuksen pilvikerroksesta oikealle korkeudelle. Lisäksi kuvaajaan on lisätty Venuksen kaasukehän kerrosten nimet. Kolmas Venuksen kaasukehän rakennetta kuvaava visualisointi on animaatio, jossa on esitetty kuvaaja Venuksen kaasukehän korkeudesta paineen funktiona. Animaatio eroaa edellä kuvatusta vain vaaka-akselin suureen osalta. (Dartnell ym., 2015; Hunten, 1983)

Fysiikan sisältöjä visualisoitiin edellä mainittujen lisäksi myös kahdella muulla kuvalla. Ensimmäinen näistä on kaksiosainen kuva. Sen vasemmalla puolella on taidekuva asteroidi-impaktista ja oikealla puolella taidekuva supernovasta. Toinen kuva visualisoi abstraktimpaa aihetta. Se kuvaa aurinkotuulten osumista Venuksen ja Maan magneettikenttiin. Kuvaan on lisätty sen sisältöä selkeyttävää tekstiä. Asteroidi-impaktit, supernovat ja planeettojen magneettikentät ovat elämän esiintymismahdollisuuksiin vaikuttavia fysikaalisia tekijöitä. (Cockell, 2015; Dartnell ym., 2015; Hanslmeier, 2013)

Lisäksi verkkomateriaaliin laadittiin viisi muuta kuvaa. Näistä ensimmäinen on kaksiosainen yhdistelmäkuva aiemmin esitellyistä pilvipisaran kokoa kuvaavasta kuvasta ja Venuksen kaasukehän kerroksia kuvaavasta kuvasta (Dartnell ym., 2015; Hunten, 1983). Tätä kuvaa käytettiin artikkelikuvana, kun taas erillisiä kuvia käytettiin artikkelin sisällä sidoksissa oppisisältötekstiin. Toinen kuva on taulukko, jossa on esitetty teoriat, kuinka elämä on voinut päätyä Venuksen pilviin (Benner ym., 2004; Hanslmeier, 2013; Schulze-Makuch & Irwin, 2002). Kolmannessa kuvassa on esitetty Venuksen symboli. Neljännessä kuvassa on esitetty Venuksen pilviä tutkinut astrobiologi *Charles Cockell* (Cockell, 1999). Viides kuva on verkkomateriaalin jokaisella sivulla näkyvä otsakekuva. Se on taidekuva Venuksen pilvistä.

Teoreettisen ongelma-analyysin perusteella verkkomateriaalin oppisisällön ei tule rajoittua vain monimediamuotoon, joten oppisisältö saatettiin hypermediamuotoon lisäämällä hypertekstiä. Hypertekstiä on tarkoituksenmukaista käyttää sekä oppisisällön sisäisen navigaation helpottamiseen että käyttäjän ohjaamiseen verkkomateriaalin ulkopuolisiin resursseihin (Jolliffe ym., 2001). Verkkomateriaalin ulkopuolisten resurssien linkittäminen on tärkeää kontekstuaalisen opetuksen näkökulmasta. Ulkopuoliset resurssit tukevat itsesäädeltyä oppimista, joka on yksi kontekstuaalisuuden kriteereistä. (E. Johnson, 2002)

WordPress-alusta tuki hyvin hypermediaa. Jokaiselta verkkomateriaalin sivulta pääsee takaisin etusivulle klikkaamalla sivun alussa olevaa otsakekuvaa. Otsakekuva ei seuraa skrollausta. Jokaisella verkkomateriaalin sivulla on kuitenkin skrollausta seuraava painike, josta voi siirtyä takasin sivun alkuun. *WordPressin* ominaisuus on hyvä, koska jokaiselta

verkkomateriaalin sivulta tulisi päästä mahdollisimman helposti takaisin etusivulle (Jolliffe ym., 2001). *WordPressiin* oli helppoa rakentaa päävalikko, jonka kautta pääsee yhdellä klikkauksella käsiksi mihin tahansa verkkomateriaalin *WordPressissä* olevaan resurssiin.

Oppisisältöartikkeleita linkitettiin tarkoituksenmukaisesti toisiinsa hypertekstillä. Hyperlinkkien suuri määrä ei kuitenkaan ollut päämäärä, koska oppisisältöartikkelit pyrittiin järjestelemään loogiseen järjestykseen, jolloin hyperlinkkien tarve vähenee. Astrobiologiaa tieteenalana käsittelevän oppisisältöosan loppuun lisättiin hyperlinkki, josta pääsee oppisisältöosaan, jossa tarkastellaan elämän esiintymismahdollisuuksia Venuksen pilvissä. Rikkihappopitoisuutta elämän esiintymismahdollisuuksia rajoittavana tekijänä tarkastelevasta oppisisältöartikkelista pääsee hyperlinkillä oppisisältöartikkeliin, jossa tarkastellaan rikkihapon mahdollisuutta toimia vaihtoehtoisena biologisena liuottimena (Benner ym., 2004; Dartnell ym., 2015). Elämään viittaavista havainnoista kertovasta oppisisältöartikkelista pääsee hyperlinkillä oppisisältöartikkeliin, jossa tarkastellaan eliöiden mahdollisia tapoja tuottaa energiaa Venuksen pilvissä (Cockell, 1999; Limaye ym., 2018; Schulze-Makuch & Irwin, 2002). Tämä viimeiseksi mainittu linkitys tehtiin myös päinvastaiseen suuntaan. Verkkomateriaalin sisäisen linkityksen tulisi toimia myös käänteiseen suuntaan (Jolliffe ym., 2001). Hyperlinkkejä verkkomateriaalin ulkopuolisiin resursseihin lisättiin erityisesti kuvateksteihin. Niihin lisättiin linkkejä internetin resursseihin, joita on hyödynnetty kuvien laatimisessa suoraan. Niiden lisäksi astrobiologiaa tieteenalana käsittelevään oppisisältöosaan lisättiin hyperlinkit *Committee on Space Researchista* ja *International Council for Sciencesta* kertoviin Wikipedia-artikkeleihin. Näiden hyperlinkkien asianyhteys oppisisältötekstissä on se, että kyseiset organisaatiot ovat tunnustaneet astrobiologian tieteenalaksi (Billings, 2009).

5.3 Muut resurssit

Empiirisen ongelma-analyysin I tulosten perusteella kemian opettajat kokevat tarpeelliseksi verkkomateriaalin, jota voi käyttää sellaisenaan kemian eheyttävässä opetuksessa. Tähän kehittämistarpeeseen vastattiin laatimalla verkkomateriaaliin sen opetuskäyttöä tukevia resursseja. Luvussa 5.3.1 esitellään verkkomateriaaliin laaditut työtapaohjeet. Luvussa 5.3.2 esitellään verkkomateriaalin osaamistestiä. Verkkomateriaalin linkkikokoelmia esitellään luvussa 5.3.3.

5.3.1 Työtapaohjeet

Verkkomateriaaliin päätettiin laatia yhteensä neljä eri työtapaohjetta opetuskäyttöä varten. Nämä ovat väittely, luova kirjoittaminen, demonstraatio ja projektityö. Neljä työtapaa katsottiin sopivaksi ensimmäisen empiirisen ongelma-analyysin tulosten (luku 4.3) perusteella, sillä kyselyyn osallistuneet kemian opettajat ja opettajaopiskelijat kokivat, ettei eheyttävään opetukseen ole saatavilla riittävästi työtapaohjeita. Lisäksi kyselyyn osallistuneet kokivat, ettei internetistä löydy materiaalia, jota voidaan käyttää sellaisenaan kemian eheyttävässä opetuksessa. Työtapaohjeilla säästetään myös eheyttävän opetuksen suunnitteluun kuluvaa aikaa, jonka ensimmäiseen empiiriseen ongelma-analyysiin hankittu otos koki liian vähäiseksi. Työtapaohjeet ovat olleet tavallinen ratkaisu Helsingin yliopiston Kemian opettajankoulutusyksikön pro gradu -tutkielmissa, joissa on tuotettu kehittämistutkimuksella verkkomateriaaleja kemian opetukseen (esim. Asikainen, 2016; Haatainen, 2014).

Väittelytyötavassa rakennetaan yhteistoiminnallisesti paneelimuotoinen väittely elämän esiintymisestä Venuksen pilvissä. Oppilasryhmä jaetaan alussa neljään ryhmään ja sivuston artikkelit kahteen osaan. Yksi ryhmä saa luettavaksi puolet sivuston artikkeleista, joista he etsivät argumentteja joko elämän esiintymisen puolesta tai sitä vastaan. Toinen samat artikkelit saanut ryhmä etsii päinvastaisia argumentteja. Lopuksi jokaisesta ryhmästä yksi

oppilas osallistuu luokan edessä tapahtuvaan paneeliin, jossa osallistuva oppilas väittelee ryhmänsä keräämien tietojen pohjalta. Yleisöä pyritään aktivoimaan paneelin aikana antamalla yleisön jäsenille puheenvuoroja ja käyttämällä Backchannel Chat -sovellusta, jonka avulla oppilaat voivat lähettää aiheeseen liittyviä viestejä luokan eteen näkyville. Väittely on hyvä työtapa eheyttävään opetukseen, koska kaikkien tiedonalojen tieto rakentuu argumentaatiolla (Kaakkuri-Knuuttila & Heinlahti, 2006). Työtavassa oppilaille on tarkoitus muodostua autenttinen kokemus tiedeyhteisön paneelitilaisuudesta. Tällöin oppimistilanteen arviointi on autenttista, mikä on yksi kontekstuaalisuuden kriteereistä. Kontekstuaalisuuden kriteereistä täyttyvät työtavassa selvästi myös kriittinen ajattelu ja yhteistoiminta. (E. Johnson, 2002) Väittely tukee hyvin luonnontieteellisen kielen ja argumentaation harjoittelua, joka on yksi verkkomateriaalin opetuskäytön oppimistavoitteista.

Luovaan kirjoittamiseen perustuvassa työtavassa oppilaat lukevat sivuston artikkelit noin neljän hengen ryhmissä ja kirjoittavat niiden pohjalta scifi-tarinan. Oppilaat etsivät artikkeleista heidän omasta mielestään kiinnostavimpia asioita. Kiinnostavien asioiden etsiminen tukee itsesäädeltyä oppimista. Ennen kirjoittamista oppilaat keskustelevat lukemastaan ryhmissä, joissa kirjoittaminen tapahtuu. Tarinoiden luonnokset tehdään niin, että ryhmäläiset kierrättävät opettajan ohjeiden mukaisesti vihkoja lisäten aina yhden lauseen kohdalleen sattuvaan tarinaan. Luonnoksista ryhmä jalostaa yhden lopullisen tuotoksen. Työtavassa täyttyy itsesäädellyn oppimisen lisäksi kontekstuaalisuuden muitakin kriteerejä, kuten merkityksellisen työn tekeminen ja luovan ajattelun käyttö (E. Johnson, 2002). Työtapa sopii kemian eheyttämiseen, koska se havainnollistaa verkkomateriaalin aiheen yhteyttä populaarikulttuuriin. Populaarikulttuuri on osa oppilaiden koulun ulkopuolista kokemusmaailmaa, johon opetuksen eheyttämisessä ja kontekstualisoinnissa pyritään muodostamaan yhteyttä (Rauste-von Wright ym., 2003). Väittelyn tavoin myös luova kirjoittaminen tukee hyvin luonnontieteellisen kielen harjoittelua verkkomateriaalin opetuskäytölle määritetyn oppimistavoitteen mukaisesti.

Demonstraationa tehtävä kokeellinen työ on rikkihapon ja sakkaroosin välinen reaktio, jossa rikkihappo sitoo sakkaroosista vettä, jolloin jäljelle jää vain hiiltä. Demonstraatio on näyttävä, koska dekantterilasista kohoaa hiilipatsas. Demonstraation avulla pyritään

verkkomateriaalin oppisisältöön liittyen havainnollistamaan, ettei rikkihappoa liuottimena käyttävä elämä voi perustua Maan biomolekyyleihin, kuten hiilihydraatteihin (Benner ym., 2004). Työtapa valittiin verkkomateriaaliin, koska kokeellisuus on tärkeä osa kemian opetusta (Opetushallitus, 2016).

Projektityö ei liity Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksiin Venuksen pilvissä vaan muissa Aurinkokunnan kohteissa. Projektityössä oppilaat laitetaan hakemaan ryhmissä tietoa astrobiologian kannalta kiinnostavista Aurinkokunnan kohteista, joita esiteltiin tämän tutkielman luvussa 3.1.1. Projektityön tuotos on verkkomateriaalin työtapaohjeistuksessa jätetty avoimeksi, mutta tarkoitus on luoda jossakin muodossa niin sanottu astrobiologian tiekartta Aurinkokunnassa. Työtapa otettiin sivulle, koska sen avulla voidaan syventyä laajemmin astrobiologiaan, ja koska projektityö on yleinen eheyttävän opetuksen työtapa (esim. Glynn & Winter, 2004). Projektityön toteutus voi olla haastavaa, koska suomenkielistä materiaalia astrobiologian tutkimuskohteista on saatavilla niukasti.

5.3.2 Osaamistesti

Teoreettisessa ongelma-analyysissä selvisi, että välittömällä palautteella varustetut tehtävät ovat verkkomateriaalin tarjoama mahdollisuus opetukseen. Välittömän palautteen ominaisuus tukee oppimista ja lisää oppimismotivaatiota (Slepkov, 2013). Välittömän palautteen tehtävät lisäävät opettajan mahdollisuuksia käyttää verkkomateriaalia sellaisenaan opetuksessa, koska tehtäviä voidaan hyödyntää oppimisen analytiikassa ja arvioinnissa. Nämä kehittämistarpeet johtivat päätökseen laatia verkkomateriaaliin oppisisältöjä käsittelevä osaamistesti, jossa on välittömän palautteen ominaisuus.

Osaamistestiä ei voitu laatia suoraan *WordPress*-alustalle. Osaamistestin alustaksi valittiin *Socrative* (https://www.socrative.com/). *Socrative* mahdollistaa välittömän palautteen, loppupisteiden näyttämisen ja kysymysten järjestyksen satunnaistamisen, joiden katsottiin olevan hyviä ominaisuuksia osaamistestille. *Socrativen* heikkoutena on, ettei sinne

laadittua testiä voi jakaa suoraan linkillä. *Socrative*-testeihin täytyy aina kirjautua ”huoneen nimellä”, joka täytyi jakaa verkkomateriaalissa linkin lisäksi. Monimutkainen siirtymä verkkomateriaalista osaamistestiin ei ole ideaalinen opetustilanteen sujuvuuden kannalta. Kehittämisprosessin aikana testattiin myös paria muuta alustaa osaamistestille. Nämä olivat *Google Forms* ja *quiz-maker.com*. Niiden ei kuitenkaan katsottu olevan ominaisuuksiltaan *Socrativen* tasoisia. Lisäksi *Socrative* on tutkielman tekijälle tutumpi alusta.

Osaamistestiin laadittiin yhteensä 25 tehtävää. Kaikkien tehtävien muodoksi valittiin oikein/väärin-väittämä, koska niihin on nopea vastata. Tehtävät valittiin siten, että ne mittaisivat mahdollisimman tasaisesti verkkomateriaalin eri oppisisältöosien ja -artikkeleiden tietoja. Osaamistestin tehtävät mittaavat muistamista ja ymmärtämistä. Verkkomateriaaliin lisättiin myös *Socrative*-osaamistestin *SOC*-koodi, jotta opettaja voisi käyttää osaamistestiä hyödyksi omassa oppimisen analytiikassaan ja muokata sitä helposti omiin tarpeisiinsa sopivammaksi.

5.3.3 Linkkikokoelmat

Empiirisessä ongelma-analyysissä I havaittiin, että kemian opettajat ja opettajaopiskelijat kokevat, ettei astrokemiaan ja astrobiologiaan liittyvää materiaalia ole saatavilla tarpeeksi. Kehittämisprosessissa päätettiin huomioida tämä kehittämistarve laatimalla verkkomateriaaliin hypertekstiä hyödyntäviä linkkikokoelmia. Linkkikokoelmien tavoitteena on auttaa verkkomateriaalia käyttävää opettajaa löytämään lisää kontekstiin liittyvää materiaalia, jota voi soveltaa opetukseen. Linkkikokoelmat hyödyttävät myös verkkomateriaalia käyttävää oppilasta, koska tiedon etsinnän helpottaminen voi tukea oppilaan omakohtaisen kiinnostuksen vahvistumista. Linkit tarjoavat siten keinon itsesäädeltyyn oppimiseen, joka on yksi kontekstuaalisuuden kriteeri (E. Johnson, 2002). Linkkien valinnassa huomioitiin teoreettisessa ongelma-analyysissä ilmenneet kehittämistarpeet, joiden mukaan linkkien tulee olla helposti identifioitavia, verkkomateriaalin aiheen kannalta relevantteja ja sisällöltään luotettavia (Jolliffe ym., 2001).

Verkkomateriaaliin päätettiin laatia kaksi erillistä linkkikokoelmaa, koska linkit tulee ryhmitellä loogisesti (Jolliffe ym., 2001). Ensimmäinen linkkikokoelma sisältää hyperlinkkejä tieteellisiin julkaisuihin, joita on käytetty verkkomateriaalin oppisisällön lähteinä. Tieteelliset julkaisut ryhmiteltiin linkkikokoelmassa kolmeen kategoriaan. Ensimmäinen kategoria on Venusta käsittelevät astrobiologian julkaisut. Tähän kategoriaan tuli kymmenen julkaisua. Toinen kategoria on Venusta käsittelevät astrokemian julkaisut. Toiseenkin kategoriaan tuli kymmenen julkaisua. Kolmas kategoria sisältää verkkomateriaalin aiheen kannalta relevantteja biologian julkaisuja. Julkaisuja kolmanteen kategoriaan tuli yhdeksän kappaletta. Kaikki linkkikokoelman tieteelliset julkaisut ovat englanninkielisiä. Verkkomateriaalin toiseen linkkikokoelmaan lisättiin yhteensä viisi hyperlinkkiä sivustoille, joiden kautta omaa tietämystään Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuksesta voi syventää. Linkkien takaa löytyy astrobiologia-aiheesta uutisia, koulutustarjontaa, tietovisa ja kirjamyyntiä. Astrobiologia-aiheiset uutiset linkin takana ovat englanninkielisiä. Muiden linkkien takaa löytyy suomenkielisiä sivustoja.

5.4 Yhteenveto

Tässä luvussa aloitettiin vastaaminen tutkimuskysymykseen:

- Millaiset hypermediasisällöt soveltuvat Venuksen pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevään verkkomateriaaliin, jota voidaan käyttää sen oppisisällölle määritettyjen oppimistavoitteiden mukaisesti kemian eheyttämiseen fysiikan ja biologian kanssa perusopetuksen yhdeksännellä luokalla?

Kehittämistuotoksena lähdettiin laatimaan Venuksen pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevää verkkomateriaalia, jonka alustaksi valittiin *WordPress*. Kehittämisprosessi aloitettiin määrittämällä verkkomateriaalin opetuskäytölle sopivat oppimistavoitteet ja kohderyhmä. Oppimistavoitteiksi määritettiin luonnontieteiden poikkitieteelliseen nykytutkimukseen tutustuminen, luonnontieteen kielen ja argumentaation oppiminen sekä ymmärryksen lisääminen mallien ja ennusteiden merkityksestä kemiassa (esim. Horodyskyj ym., 2018; Oliveira, 2008; Oliver & Fergusson, 2007; Schulze-Makuch & Irwin, 2002; Staley, 2003). Verkkomateriaalille määritettiin sopivaksi kohderyhmäksi peruskoulun yhdeksäsluokkalaiset. Kohderyhmä otettiin huomioon verkkomateriaalin sisällön laatimisessa monella tavalla. (Opetushallitus, 2016)

Verkkomateriaalin oppisisältö jaettiin kolmeen oppisisältöosaan. Ensimmäinen oppisisältöosa käsittelee astrobiologiaa tieteenalana. Toinen oppisisältöosa käsittelee Venusta ja kolmas oppisisältöosa elämän esiintymismahdollisuuksia Venuksen pilvissä. Näihin sisältyvät kemian oppisisällöt valittiin siten, että ne liittyvät elämän aineellisiin edellytyksiin, elämän synnyn kemiaan, elämään viittaaviin kemiallisiin merkkeihin tai Venuksen astrokemiaan. Kemian oppisisältöjen lisäksi verkkomateriaaliin otettiin perusopetuksen opetussuunnitelman mukaisia oppisisältöjä fysiikasta ja biologiasta. Verkkomateriaalin oppisisältö saatettiin hypermediamuotoon lisäämällä sinne kuvia, animaatioita ja hypertekstiä. Kuvissa ja animaatioissa pyrittiin integroimaan sekä kemian tasoja keskenään että kemiaa fysiikan ja biologian kanssa (Johnstone, 2000).

Verkkomateriaaliin päätettiin lisätä resursseja, jotka tukevat sen oppisisällön opetuskäyttöä. Työtapaohjeita laadittiin yhteensä neljään eri työtapaan. Työtavoiksi otettiin paneelimuotoinen väittely, luova scifi-tarinoiden kirjoittaminen, demonstraatio ja projektityö. Verkkomateriaalin yhteyteen laadittiin 25 oikein/väärin-väittämästä koostuva *Socrative*-osaamistesti, joka mittaa verkkomateriaalin oppisisällön muistamista ja ymmärtämistä. Verkkomateriaaliin lisättiin kaksi linkkikokoelmaa. Näistä ensimmäinen sisältää linkkejä tieteellisiin julkaisuihin, joita on käytetty verkkomateriaalin oppisisällön lähteinä. Toinen linkkikokoelma sisältää linkkejä muille sivustoille, joiden kautta käyttäjä voi perehtyä lisää verkkomateriaalin aiheeseen.

6 Kehittämistuotos

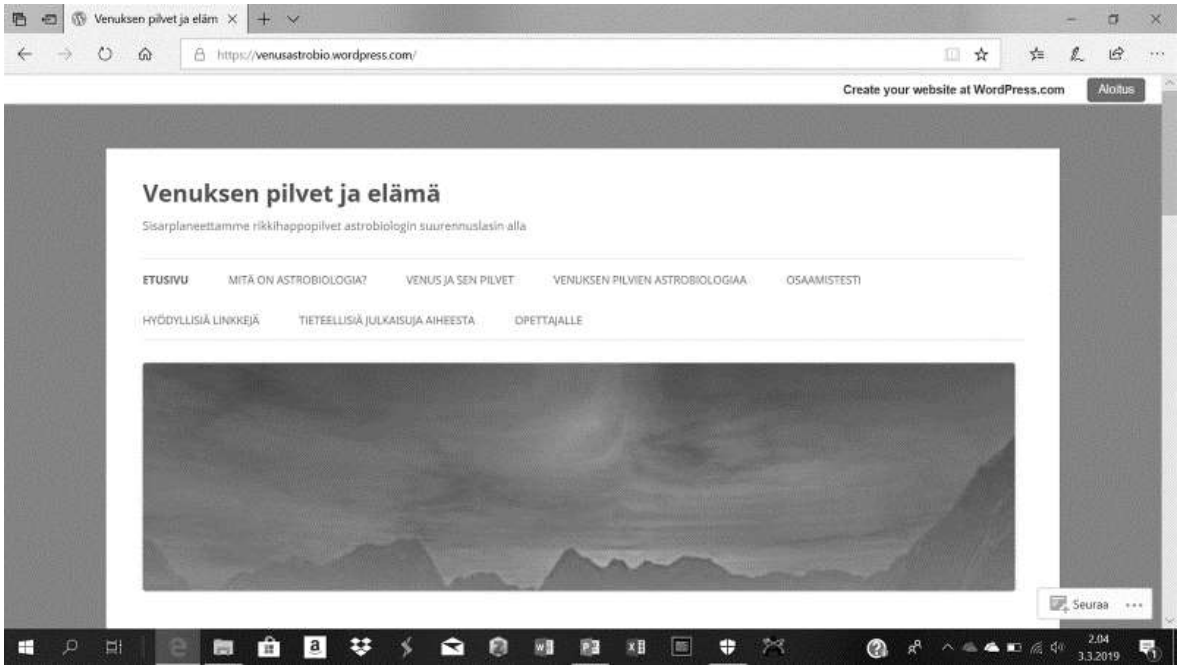
Kehittämistuotoksena syntyi kemian eheyttävään opetukseen suunnattu *Venuksen pilvet ja elämä* -verkkosivusto (https://venusastrobio.wordpress.com/). Verkkomateriaalin ensimmäinen versio esitellään luvussa 6.1. Verkkosivuston jatkokehitystarpeiden arvioimiseksi suoritettiin empiirinen ongelma-analyysi II, joka toteutettiin kemian opettajan haastattelun kvalitatiivisena sisältöanalyysinä (Tuomi & Sarajärvi, 2009). Empiiristä ongelma-analyysiä II käsitellään luvussa 6.2. Luvussa 6.3 kuvataan kehittämistuotoksen jatkokehittämispäätökset.

6.1 Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuutta Venus-planeetan pilvissä käsittelevä verkkosivusto

Luvussa 5.2 kerrottiin, että verkkomateriaalin oppisisältö jaettiin kolmeen osaan. Oppisisältöosien nimiksi tulivat:

1. Mitä on astrobiologia?
2. Venus ja sen pilvet
3. Venuksen pilvien astrobiologiaa

Toinen ja kolmas oppisisältöosio on jaettu pienempiin oppisisältöartikkeleihin. Samaan oppisisältöosaan kuuluvia artikkeleja pystyy lukemaan peräkkäin loogisessa järjestyksessä samalla sivulla tai yksittäin omilla sivuilla. Verkkomateriaalin etusivu ei kuulu yhteenkään oppisisältöosaan. Etusivulla on kuitenkin oppisisältöön liittyvä artikkeli *Mitä ihmettä?* Lisäksi etusivulla on toinen artikkeli, jossa kerrotaan sivuston rakenteesta. Kuvassa 9 on esitetty verkkomateriaalin etusivun yläosa, jossa näkyy verkkomateriaalin valikko.



Kuva 9: Kuvakaappaus kehittämistuotoksen etusivusta

Mitä on astrobiologia? -oppisisältöosa sisältää yhden artikkelin, jossa kerrotaan astrobiologiasta tieteenalana erityisesti kemian näkökulmasta. Artikkelin sanamäärä on 602, ja artikkeli sisältää yhden kuvan. Artikkeli on sivuston oppisisältöartikkeleista selvästi pisin ja ylittää reilusti sanamäärän maksimiksi asetetun tavoitteen, joka oli 300 sanaa.

Venus ja sen pilvet -oppisisältöosa sisältää kolme artikkelia, jotka on esitelty taulukossa 8. Oppisisältöosa sisältää tietoa sekä Venuksen fysikaalisista että kemiallisista ominaisuuksista. Pääpaino on Venuksen kaasukehässä.

Taulukko 8. Venus ja sen pilvet -oppisisältöosan sisältö (Dartnell ym., 2015; Hunten, 1983; Williams, 2016; Zhang ym., 2012)

Artikkeli	**Sanamäärä**	**Kuvien määrä**	**Animaatioiden määrä**	**Keskeiset sisällöt**
Venus-planeetta	125	2	0	Venuksen sijainti, koko ja kiinteä koostumus
Pilvien ja kaasukehän rakenne	170	3	2	Venuksen kaasukehän osat, lämpötila ja paine
Pilvien ja kaasukehän koostumus	235	2	3	Venuksen kaasukehän ja pilvien yleisimmät komponentit; pilvien muodostuminen

Venuksen pilvien astrobiologiaa -oppisisältöosa sisältää seitsemän artikkelia, jotka on esitelty taulukossa 9. Oppisisältöosa tarkastelee laajasti eri tiedonalojen näkökulmista hypoteesia elämästä Venuksen pilvissä. Kemian painotus oppisisältöosassa on suurin.

Taulukko 9. Venuksen pilvien astrobiologiaa -oppisisältöosan sisältö (Benner ym., 2004; Chopra ym., 2009; Cockell, 1999; Dartnell ym., 2015; Gottschalk, 2012; Houtkooper & Schulze-Makuch, 2007; Hunten, 1983; Limaye ym., 2018; Morowitz & Sagan, 1967; Schulze-Makuch ym., 2004)

Artikkeli	**Sanamäärä**	**Kuvien määrä**	**Animaatioiden määrä**	**Keskeiset sisällöt**
Kuka nyt sellaista puhuu?	179	1	0	Venuksen löytö- ja tutkimushistoria; astrobiologisen hypoteesin historia
Merkkejä elämästä?	273	1	1	Elämään viittaavat havainnot Venuksen kaasukehän koostumuksessa; spektroskooppiset merkit elämästä; morfologiset merkit elämästä
Liikaa Aurinkoa?	281	2	0	Elämän esiintymismahdollisuuksiin vaikuttavat fysikaaliset tekijät; ionisoivan säteilyn määrä elämän esiintymismahdollisuuksia pienentävänä tekijänä Venuksen pilvissä
Löytyykö tarvittavia alkuaineita?	160	2	0	Maan elämän tarvitsemat alkuaineet ja niiden epäorgaaniset lähteet Maan bakteereille sekä näiden esiintyminen Venuksen kaasukehässä

Taulukko 9 (jatkuu). Venuksen pilvien astrobiologiaa -oppisisältöosan sisältö (Benner ym., 2004; Chopra ym., 2009; Cockell, 1999; Dartnell ym., 2015; Gottschalk, 2012; Houtkooper & Schulze-Makuch, 2007; Hunten, 1983; Limaye ym., 2018; Morowitz & Sagan, 1967; Schulze-Makuch ym., 2004)

Artikkeli	**Sanamäärä**	**Kuvien määrä**	**Animaatioiden määrä**	**Keskeiset sisällöt**
Liian hapokasta?	227	1	0	Happamuus ja alhainen vesipitoisuus elämän esiintymismahdollisuuksia pienentävinä tekijöinä Venuksen pilvissä
Miten pilvieliöt tuottaisivat energiaa?	331	3	1	Maan fotosynteesien ja sulfaattihengityksen yhteys merkkeihin elämästä Venuksen pilvissä; hypoteettiset kemosynteesit elämään viittaavien havaintojen selityksinä
Jospa se perustuukin vaihtoehtoiseen biokemiaan?	210	0	0	Elämän synty ympäröiviin olosuhteisiin mukautuen; rikkihappoa liuottimena käyttävä vaihtoehtoinen biokemia

Verkkosivuston *Opettajalle*-sivulla on työtapaohjeet neljään erilaiseen työtapaan, jotka esiteltiin kehittämisprosessin yhteydessä luvussa 5.3.1. Verkkomateriaalin *Osaamistesti*-sivu sisältää kirjautumisohjeet *Socrative*-alustalla olevaan osaamistestiin. Osaamistestiä esiteltiin luvussa 5.3.2. Verkkosivuston *Tieteellisiä julkaisuja aiheesta* -sivu on linkkikokoelma, joka sisältää hyperlinkkejä tieteellisiin julkaisuihin, joita käytettiin verkkomateriaalin oppisisällön lähteinä. Verkkomateriaalin *Hyödyllisiä linkkejä* -sivu on linkkikokoelma, joka sisältää hyperlinkkejä sivustoille, joiden kautta voi hankkia lisää tietoa astrobiologiasta. Linkkikokoelmien sisältöä esiteltiin luvussa 5.3.3.

6.2 Empiirinen ongelma-analyysi II

Tässä luvussa arvioidaan kehittämistuotoksen ensimmäisen version onnistuneisuutta. Empiirisen ongelma-analyysin II perusteella kartoitetaan verkkomateriaalin jatkokehittämistarpeita. Empiirisessä ongelma-analyysissä II käytetään tutkimusmenetelmänä kemian opettajan haastattelua. Luvussa 6.2.1 esitellään tutkimusmenetelmää ja -asetelmaa ja luvussa 6.2.2 haastattelulla saatuja tuloksia. Luku 6.2.5 on yhteenveto empiirisestä ongelma-analyysistä II.

Empiirinen ongelma-analyysi II hakee vastausta tutkimuskysymykseen:

- Millaisia jatkokehittämistarpeita kemian opettaja kokee Venuksen pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevällä verkkomateriaalilla olevan?

6.2.1 Kemian opettajan haastattelu

Kemian opettajan haastattelu toteutettiin osana *Helsingin yliopiston Kemian opettajankoulutusyksikön* järjestämää *Astrokemia kemian opetuksessa* -tapahtumaa. Tapahtuma järjestettiin 25.3.2019 klo 15:30–17:00 aiheesta kiinnostuneille kemian opettajille. Siitä tiedotettiin *Helsingin yliopiston* kemian opettajien alumnien sähköpostilistalla, *Kemian opettajat -vertaisryhmässä* Facebookissa ja *LUMA-keskus Suomen* verkkosivuilla. Tapahtuman tiedotuksesta vastasi pro gradu -tutkielman ohjaaja ja toteutuksesta pro gradun tekijä. Useista tiedotuskanavista huolimatta tapahtumaan osallistui vain yksi kemian opettaja.

Tapahtuma alkoi tietoiskulla astrokemian ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuksen käyttämisestä kemian eheyttävän opetuksen konteksteina. Tietoisku sisälsi luvussa 3 esitettyjä tietoja tiiviissä muodossa. Tietoiskussa käytettiin *PowerPoint*-esitystä. Tietoisku toteutettiin luentona, jonka aikana kuulijalla oli mahdollisuus esittää kysymyksiä ja kommentteja.

Tietoiskun jälkeen tapahtumaan osallistunut opettaja ohjattiin tutustumaan valikoituihin verkkomateriaalin sisältöihin. Oppisisältöartikkeleista tutustuttaviksi näyteartikkeleiksi otettiin *Pilvien ja kaasukehän rakenne, Pilvien ja kaasukehän koostumus* ja *Miten pilvieliöt voisivat tuottaa energiaa?* Nämä oppisisältöartikkelit valittiin, koska ne tuovat hyvin esille verkkomateriaalin kemian sisältöjen eheyttä fysiikan ja biologian sisältöjen kanssa. Valitut oppisisältöartikkelit sisältävät monimediasisältönä verkkomateriaalin muita oppisisältöartikkeleja enemmän animaatioita, joista tutkimushaastattelulla pyrittiin saamaan tietoa. Oppisisältöartikkelien lisäksi tapahtumaan osallistunut opettaja ohjattiin tutustumaan pintapuoleisesti verkkomateriaalin osaamistestiin, *Hyödyllisiä linkkejä* -kokoelmaan, *Tieteellisiä julkaisua aiheesta* -kokoelmaan ja työtapaohjeisiin.

Verkkomateriaaliin tutustumisen jälkeen kemian opettaja haastateltiin. Haastateltu opettaja oli mies, jolla oli suhteellisen paljon opetuskokemusta sekä yläkoulun että lukion kemiasta. Haastateltu oli hankkinut tietämystä astrokemiasta ennen tapahtumaa ja tutustunut myös etukäteen tutkittavaan verkkomateriaaliin. Haastatellulla oli kokemusta sähköisten oppimateriaalien kehittämisestä. Haastattelu toteutettiin puolistrukturoidusti. Ennalta valittuja aiheina haastatteluun olivat verkkomateriaalin rakenne, teksti, monimediasisältö, linkitys, osaamistesti, työtapaohjeet sekä kontekstin suhde oppimiseen. Haastattelu taltioitiin äänittämällä. Äänittäminen aloitettiin jo tapahtuman alun tietoiskun aikana, kun haastateltava alkoi esittämään näkemyksiään. Äänitteestä litteroitiin tutkimuksen kannalta oleellisia otoksia. Aineiston analyysi tapahtui kvalitatiivisella aineistolähtöisellä kuvauksella, joka kohdistui haastattelun sisältöön. (Tuomi & Sarajärvi, 2009)

6.2.2 Tulokset kemian opettajan haastattelusta

Haastateltu kemian opettaja koki verkkomateriaalin oppisisällön ja siihen liitetyt työtapaohjeet erityisen hyviksi luonnontieteellisen kielen ja argumentaation opetukseen. Nämä havainnot ovat hyvin yhteydessä teoriaan (Oliveira, 2008; Oliver & Fergusson, 2007). Haastateltu piti luonnontieteen kielen opetusta myös hyvin tärkeänä kemian opetuksen osa-alueena. Haastateltu ei juurikaan tarttunut muihin tietoiskussa esitettyihin kontekstin mahdollisuuksiin ja haasteisiin tai verkkomateriaalin opetuskäytölle määritettyihin oppimistavoitteisiin. Hän piti verkkomateriaalin opetuskäytön suurimpana haasteena kokeellisuuden puutetta ja sitä kautta heikkoa yhteyttä opetussuunnitelmiin, joissa kokeellisuus on vahvasti esillä (Opetushallitus, 2015, 2016). Haastateltu ehdotti, että verkkomateriaalin voisi lisätä kokeellisuuteen liittyvää materiaalia astrokemiakontekstista. Nämä materiaalit voisivat hänen mukaansa liittyä spektroskopiaan ja meteoriittien geologisiin tutkimuksiin.

Haastateltu ei kokenut, että verkkomateriaalin oppisisältöartikkelien tekstiä tarvitsisi kehittää. Tekstin määrän ja haastavuuden sopivuus riippuu hänen mukaansa niin paljon sivustoa käyttävästä oppilaasta yksilönä, ettei oikeanlaista artikkelien pituutta tai haastavuutta ole olemassa. Haastateltu piti verkkomateriaalin monimediasisällöstä. Erityisesti animaatiot, joissa esitettiin kemian eri molekyylimallityyppejä sulautetusti yhdessä jonkin muun asian visualisoinnin kanssa, olivat haastatellun mielestä onnistuneita. Haastateltu koki myös kuvaajat liikkuvalla datapisteellä mielekkäiksi visualisoinneiksi, koska monet oppilaat pitävät kuvaajien tulkintaa vaikeana. Reaktioita kuvaavista animaatioista haastateltu totesi, että niissä tulisi kuvata tarkemmin reaktion mekanismia. Tästä hyötyisi haastatellun mukaan erityisesti oppilaat, jotka ovat kiinnostuneita kemiasta.

Haastateltu ei nähnyt kehittämistarpeita verkkomateriaalin rakenteessa. Haastateltu koki, että verkkomateriaalin *Opettajalle*-sivua ei välttämättä tarvitse kehittää. Sitä voisi haastatellun mukaan kuitenkin kehittää lisäämällä sinne edellä mainittuja yhteyksiä kokeellisuuteen sekä suomennettuja tiivistelmiä artikkeleista, jotka käsittelevät astrokemian ja -biologian käyttämistä kemian eheyttävän opetuksen konteksteina.

Haastateltu mainitsi, että opettajalle käytännöllisin olisi verkkomateriaali, jota voi itse muokata omaan käyttöönsä sopivaksi. Tällaisen mahdollisuuden tarjoaa tällä hetkellä ainoastaan verkkomateriaalin yhteydessä oleva *Socrative*-osaamistesti, jonka *SOC*-koodi on jaettu verkkomateriaalissa. Osaamistestiä haastateltu ei pitänyt sisällöltään hyvänä, koska se mittaa vain oppisisällön muistamista ja ymmärtämistä. Haastatellun mukaan maininta osaamistestin mittaamista ajatteluntaidoista olisi hyvä lisätä verkkomateriaaliin, jos osaamistestiä ei kehitetä mittaamaan monipuolisemmin ajatteluntaitoja. Linkitystä voisi haastatellun mukaan kehittää lisäämällä linkkejä sivustoille, jotka käsittelevät astrokemiaan liittyvää kokeellisuutta eli käytännössä spektroskopiaa ja meteoriittien geologisia tutkimuksia.

Haastattelulla saatujen tulosten luotettavuutta lisää haastatellun kemian opettajan kokemus sähköisten oppimateriaalien kehittämisestä ja tietämys astrokemiasta. Kokemus sähköisistä oppimateriaaleista näkyi, koska haastateltu osasi antaa hyvin konkreettisia kehittämisideoita. Haastatellun tietämys astrokemiasta näkyi, kun hän nimesi konkreettisia esimerkkejä yhteyksistä kokeellisuuteen. Haastatellun kemian opettajan asiantuntemusta voidaan näin pitää hyvänä kehittämisideoiden antamiseen. Lisäksi konkreettiset kehittämisideat parantavat tulosten luotettavuutta, koska ne myös pienentävät mahdollisuutta haastattelijan tekemistä virheellisistä tulkinnoista haastattelun sisällöstä. Luotettavuutta heikentää tutkielman tekijän aiemman kokemuksen puute tutkimushaastatteluista ja niiden analyysistä. Tosin tutkielman tekijä oli perehtynyt huolella tutkimusmenetelmään ennen tutkimuksen toteutusta. Haastatteluun ja verkkomateriaaliin tutustumiseen oli varattu melko vähän aikaa suhteessa verkkomateriaalin laajuuteen ja sisällön moninaisuuteen, mikä vaikuttaa luotettavuuteen heikentävästi. Haastattelu tapahtui ainutkertaisessa koulutustapahtumakontekstissa yhdelle kemian opettajalle, joten tuloksia ei voida yleistää muihin kemian opettajiin. (Tuomi & Sarajärvi, 2009)

6.2.3 Yhteenveto empiirisestä ongelma-analyysistä II

Empiirinen ongelma-analyysissä II vastattiin tutkimuskysymykseen:

- Millaisia jatkokehittämistarpeita kemian opettaja kokee Venuksen pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevällä verkkomateriaalilla olevan?

Tutkimusmenetelmänä empiirisessä ongelma-analyysissä II käytettiin puolistrukturoitua haastattelua. Analyysi tehtiin kvalitatiivisella haastatteluaineiston sisällön kuvauksella aineistolähtöisesti. (Tuomi & Sarajärvi, 2009) Haastattelun avulla selvitettiin verkkomateriaalin oppisisällön ja monimedian onnistuneisuutta kolmen näyteartikkelin avulla. Näiden lisäksi haastattelulla kartoitettiin jatkokehittämistarpeita verkkomateriaalin osaamistestille, linkkikokoelmille ja työtapaohjeille.

Haastattelu toteutettiin osana *Helsingin yliopiston Kemian opettajankoulutusyksikön* järjestämää *Astrokemia kemian opetuksessa* -tapahtumaa, joka koostui itse haastattelun lisäksi aihetta käsittelevästä tietoiskusta ja ohjatusta tutustumisesta verkkomateriaaliin. Tapahtumaan osallistui yksi kemian opettaja, jolla oli aiempaa tietämystä astrokemiasta ja opetukseen suunnattujen verkkomateriaalien tuottamisesta. Haastateltu oli tutustunut myös tutkimuksen kohteena olevaan kehittämistuotokseen ennen tapahtumaa.

Haastateltu kemian opettaja ei kokenut, että verkkomateriaalin oppisisältötekstiä tarvitsisi kehittää. Oppisisältöartikkelien monimediasisältöä hän kehittäisi muuttamalla kemiallisia reaktioita kuvaavat animaatiot sellaisiksi, että niistä ilmenevät reaktiomekanismit. Muuten haastateltu piti verkkomateriaalin monimediasisältöä onnistuneena. Haastateltu ei pitänyt verkkomateriaalin osaamistestiä kovinkaan tärkeänä verkkomateriaalin elementtinä, koska se mittaa vain muistamista ja ymmärtämistä. Hänen mukaansa osaamistestiä voisi kehittää mittaamaan korkeamman tason ajatteluntaitoja. Mikäli osaamistestiä ei muokata, pitäisi haastatellun mukaan sen yhteydessä olla maininta siitä, millaisia ajatteluntaitoja se mittaa. Haastateltu piti verkkomateriaalin linkkikokoelmia onnistuneina. Haastatellun mukaan

verkkomateriaaliin olisi hyvä lisätä *Opettajalle*-osioon tietoa astrokemian yhteydestä kokeelliseen kemiaan ja mahdollisesti jotakin lyhyttä teoriaa kontekstin opetuskäytöstä. Hän myös mainitsi, että opetukseen suunnattujen verkkomateriaalien pitäisi olla sellaisia, että opettajan on helppoa muokata niiden sisältöä omaan opetukseensa sopivaksi. Haastattelun tulokset ovat hyvin yhteydessä teoriaan (Oliveira, 2008; Oliver & Fergusson, 2007; Opetushallitus, 2016).

Haastatellun aiempi tietämys astrokemiasta ja asiantuntemus sähköisten oppimateriaalien kehittämisestä paransivat haastattelulla kerättyjen jatkokehittämistarpeiden luotettavuutta. Tutkimuksen luotettavuutta heikensi haastattelun toteuttaminen vain yhdelle vastaajalle, tutkielman tekijän kokemattomuus tutkimushaastatteluista sekä kehittämistuotokseen tutustumiseen ja haastatteluun käytetyn ajan niukkuus.

6.3 Kehittämistuotoksen jatkokehittämispäätökset

Tässä luvussa vastataan empiirisen ongelma-analyysin II tulosten pohjalta uudelleen tutkimuskysymykseen:

- Millaiset hypermediasisällöt soveltuvat Venuksen pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevään verkkomateriaaliin, jota voidaan käyttää sen oppisisällölle määritettyjen oppimistavoitteiden mukaisesti kemian eheyttämiseen fysiikan ja biologian kanssa perusopetuksen yhdeksännellä luokalla?

Empiirisessä ongelma-analyysissä II ilmeni, että verkkomateriaalin oppisisältöosia tarvitsee kehittää animaatioiden osalta muuttamalla kemiallisia reaktioita kuvaavat animaatiot sellaisiksi, että niissä näkyy reaktiomekanismi. Tämän tuloksen pohjalta päätettiin laatia oppisisältöartikkelin *Pilvien ja kaasukehän koostumus* animaatiosta, joka kuvaa rikkihapon muodostumista ja hajoamista Venuksen pilvikerroksesta (Zhang ym., 2012), kehittyneempi versio, jossa ilmenee reaktiomekanismi. Myös muita verkkomateriaalin oppisisältöön kuuluvia kemiallisia reaktioita olisi mahdollista kuvata

animaatioilla, joissa näkyy reaktiomekanismit. Tällaisten animaatioiden laatiminen näistä olisi kuitenkin huomattavasti monimutkaisempaa, joten asiasta ei tehty jatkokehittämispäätöstä.

Verkkomateriaalin osaamistestin yhteyteen päätettiin lisätä maininta, että se mittaa vain muistamista ja ymmärtämistä. Itse osaamistestiä ei päätetty muokata mittaamaan korkeamman tason ajatteluntaitoja, koska verkkomateriaalia käyttävällä opettajalla on mahdollista hyödyntää osaamistestin yhteydessä jaettua *SOC*-koodia ja muokata itse osaamistestiään omaan opetukseensa sopivammaksi. Maininta osaamistestin muokkaamismahdollisuudesta päätettiin lisätä verkkomateriaaliin. Tämä tehtiin, koska empiirisessä ongelma-analyysissä II ilmeni, että opetukseen suunnattujen verkkomateriaalien pitäisi olla helposti niitä käyttävien opettajien muokattavissa omiin tarpeisiin.

Verkkomateriaaliin päätettiin lisätä materiaalia opettajalle. *Opettajalle*-sivun alkuun päätettiin lisätä lyhyt kooste lähteineen keskeisistä tuloksista, joita kontekstin opetuskäytöllä on saatu. Lisäksi *Opettajalle*-sivun alkuun päätettiin lisätä verkkomateriaalin oppisisällölle määritellyt oppimistavoitteet, jotka esiteltiin luvussa 5.1. Verkkomateriaalin *Hyödyllisiä linkkejä* -kokoelmaan päätettiin lisätä linkki *Geologian tutkimuskeskuksen* www-sivuille, koska kyseinen organisaatio tekee meteoriittien kemiallista tutkimusta (Kinnunen, 2017). Linkki päätettiin lisätä, koska empiirisessä ongelma-analyysissä II saatiin selville, että verkkomateriaalin yhteyttä kokeelliseen kemiaan tulee vahvistaa.

7 Johtopäätökset ja pohdinta

Tässä kehittämistutkimuksessa haluttiin selvitä, kuinka Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstia voidaan hyödyntää kemian eheyttävässä opetuksessa. Kehittämisen tavoitteeksi asetettiin Venuksen pilviä ja elämää käsittelevä verkkomateriaali, jota voidaan käyttää sellaisenaan kemian eheyttävässä opetuksessa peruskoulun yhdeksännellä luokalla. Kehittämistutkimus koostui kahdesta syklistä, joista ensimmäinen sisälsi teoreettisen ongelma-analyysin, empiirisen ongelma-analyysin I ja kehittämisprosessin, jonka pohjalta syntyi kehittämistuotoksen, verkkomateriaalin, ensimmäinen versio. Kehittämistutkimuksen toinen sykli koostui empiirisestä ongelma-analyysistä II ja jatkokehittämispäätösten määrittelystä.

Teoreettinen ongelma-analyysi sisälsi sekä narratiivista että integroivaa kirjallisuuskatsausta (Hirsjärvi ym., 1997). Teoreettinen ongelma-analyysi vastasi tutkimuskysymykseen:

- Millä tavalla Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin ja verkkomateriaalin opetukselliset mahdollisuudet ovat yhteydessä toisiinsa sekä eheyttävän opetuksen teoriaan ja perusopetuksen opetussuunnitelmaan?

Teoreettisessa ongelma-analyysissä havaittiin, että Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskonteksti mahdollistaa hyvin kemian eheyttävän opetuksen muiden luonnontieteiden kanssa. Se lisää oppilaiden kiinnostusta luonnontieteiden opiskelua kohtaan (Arino de la Rubia, 2012; Horodyskyj ym., 2018), mitä pidetään myös kontekstilähtöisen ja siten eheyttävän opetuksen keskeisenä mahdollisuutena (Bennett ym., 2005). Lisäksi Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskonteksti mahdollistaa luovan ja kriittisen ajattelun sekä tiedon siirron kontekstista toiseen (Carrapiçoa ym., 2002; Oliveira, 2008; Price, 2009), jotka ovat kontekstuaalisuuden keskeisiä kriteerejä (Gilbert, 2006; E. Johnson, 2002). Ongelmana on, etteivät oppilaat välttämättä koe Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia merkityksellisenä asiana, ja että Maan ulkopuolisen elämän

esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstia on haastavaa tarkastella konkreettisella tasolla (Aikenhead, 2006). Lisäksi Suomessa astrokemian asema on hyvin heikko. Tämä heikentää sen mahdollisuuksia myös eheyttävän opetuksen kontekstina, koska opettajien tietotaitoa, oppimateriaalia ja mahdollisia koulun ulkopuolisia yhteistyötahoja on niukasti. Maan ulkopuolisen elämän tutkimuskonteksti on hyvin yhteydessä perusopetuksen opetussuunnitelmaan niin kemian oppiainekohtaisten tavoitteiden kuin myös laaja-alaisen osaamisen tavoitteiden osalta. Tosin opetussuunnitelman kemian osiossa painotetaan selvästi enemmän toisenlaisia konteksteja. Vahva opetussuunnitelmayhteys edellyttää kokeellisen näkökulman läsnäoloa Maan ulkopuolisen elämän tutkimuskontekstissa. Koska kontekstia on haastavaa tarkastella konkreettisella tasolla, on siihen suhteellisen haastavaa myös tuoda kokeellisuutta, vaikka aiemmissa tutkimuksissa tässä ollaankin onnistuttu (esim. Billi ym., 2014). (Opetushallitus, 2016)

Teoreettisessa ongelma-analyysissä havaittiin, että opetussuunnitelman kannalta on suotavaa käyttää opetuksessa verkkomateriaaleja, joiden sisällössä on hyödynnetty monimediaa (Opetushallitus, 2016). Kemian opetuksen kannalta tärkeiksi verkkomateriaalin mahdollisuuksiksi havaittiin animaatioiden käyttö, välittömän palautteen tehtävät ja tarkoituksenmukainen hyperteksti. Animaatioilla voidaan havainnollistaa esimerkiksi kemian submikroskooppisen tason dynaamisia ilmiöitä, kuten reaktioita (Falvo, 2008; Tasker & Dalton, 2008). Välitön palaute parantaa oppimista ja motivoi oppilaita (Slepkov, 2013). Hypertekstillä voidaan helpottaa tiedonhankintaa ja näin tukea myös oppilaiden omaehtoisen kiinnostuksen syntymistä ja vahvistumista. (Jolliffe ym., 2001; McKimm ym., 2003)

Empiirinen ongelma-analyysi I tehtiin kvantitatiivisella verkkokyselyllä kemian opettajille ja opettajaopiskelijoille (Valli, 2001). Vastausta haettiin tutkimuskysymykseen:

- Kuinka tarpeelliseksi kemian opettajat ja opettajaopiskelijat kokevat astrokemiaa ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevän verkkomateriaalin kemian eheyttävässä opetuksessa?

Empiirisessä ongelma-analyysissä I havaittiin, että kemian opettajat ja opettajaopiskelijat kokevat tarpeellisiksi niin yleisellä tasolla kemian eheyttävän opetuksen materiaalit kuin myös astrokemiaa ja -biologiaa käsittelevät oppimateriaalit. Erityisen selkeästi vastaajat pitivät Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia oppilaita kiinnostavana

aiheena. Tutkimuksen kohdejoukko koki tarpeelliseksi materiaalit, joita voi käyttää sellaisenaan kemian eheyttävässä opetuksessa. Tämän perusteella kemian eheyttävän opetuksen verkkomateriaalin tulee sisältää oppisisällön lisäksi myös muuta materiaalia, kuten työtapaohjeita. Tulokset olivat odotettuja, koska myös teoreettisessa ongelma-analyysissä nousivat selvästi esille Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin kiinnostavuus ja aiheesta tehdyn oppimateriaalin vähäisyys (Arino de La Rubia ym., 2009; Horodyskyj ym., 2018). Tarve eheyttävän opetuksen materiaaleille oli melko oletettu, koska nykyinen perusopetuksen opetussuunnitelma on ensimmäinen, joka velvoittaa toteuttamaan monialaisia oppimiskokonaisuuksia (Halinen & Jääskeläinen, 2015; Opetushallitus, 2016). Empiiriselle ongelma-analyysille I voidaan arvioida hyvä reliabiliteetti ja validiteetti (Cronbach, 1951). Tutkimuksen otos on pieni ja edustaa heikosti perusjoukkoa, joten tuloksia ei voida yleistää. (Valli, 2001; Wolf ym., 2016)

Kehittämistuotokseen liittyen tutkimuskysymyksinä oli:

- Millaiset hypermediasisällöt soveltuvat Venuksen pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevään verkkomateriaaliin, jota voidaan käyttää sen oppisisällölle määritettyjen oppimistavoitteiden mukaisesti kemian eheyttämiseen fysiikan ja biologian kanssa perusopetuksen yhdeksännellä luokalla?

Verkkomateriaalin oppisisältöä määrittivät sekä teoreettinen ongelma-analyysi että empiiriset ongelma-analyysit. Kehittämistuotokseen saatiin laajasti kemian sisältöjä alkuaineista kemialliseen reaktioon ja olomuodoista happamuuteen (esim. Cockell, 1999; Dartnell ym., 2015; Zhang ym., 2012). Kemian sisältöjä täydennettiin fysiikan ja biologian oppisisällöillä, jotka olivat aiheen kannalta relevantteja ja yhteydessä perusopetuksen opetussuunnitelmaan (Opetushallitus, 2016). Oppisisältö saatettiin teorian pohjalta hypermediamuotoon lisäämällä kuvia, animaatioita ja hypertekstiä (esim. Falvo, 2008). Oppisisällön visualisoinnissa pyrittiin integroimaan sekä kemian tasoja keskenään että kemiaa fysiikan ja biologian kanssa, millä pyrittiin sekä vertikaaliseen että horisontaaliseen eheyteen (Hellström, 2008; Johnstone, 2000). Oppimistavoitteiksi verkkomateriaalin opetuskäytölle määritettiin teorialähtöisesti luonnontieteellisen kielen ja argumentaation harjoittelu, mallien ja ennusteiden merkityksen ymmärtäminen sekä luonnontieteiden poikkitieteelliseen nykytutkimukseen tutustuminen (esim. Horodyskyj ym., 2018; Oliveira, 2008; Oliver & Fergusson, 2007; Schulze-Makuch & Irwin, 2002; Staley, 2003).

Oppisisällön lisäksi verkkomateriaaliin laadittiin linkkikokoelmia, välittömän palautteen osaamistesti ja työtapaohjeita. Näidenkin tarvetta määrittivät sekä teoreettinen ongelma-analyysi että empiiriset ongelma-analyysit (Slepkov, 2013). (Jolliffe ym., 2001)

Empiirinen ongelma-analyysi II toteutettiin kemian opettajan puolistrukturoituna haastatteluna, joka analysoitiin kvalitatiivisesti aineistolähtöisellä sisällön kuvauksella (Tuomi & Sarajärvi, 2009). Tutkimuskysymyksenä oli:

- Millaisia jatkokehittämistarpeita kemian opettaja kokee Venuksen pilviä ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia käsittelevällä verkkomateriaalilla olevan?

Empiirisessä ongelma-analyysissä II saatiin selville, että verkkomateriaalin pahin puute on sen heikko yhteys kokeellisuuteen. Muut esille tulleet jatkokehittämistarpeet liittyivät reaktioita kuvaaviin animaatioihin, osaamistestiin ja kontekstin opetuskäytön mahdollisuuksien esittelyyn. Näihin kaikkiin puutteisiin vastattiin laatimalla verkkomateriaalille konkreettisia jatkokehittämispäätöksiä. Empiirisen ongelma-analyysin II tulosten luotettavuutta parantaa erityisesti haastatellun kemian opettajan asiantuntemus sähköisten oppimateriaalien kehittämisestä. Luotettavuuden kannalta ongelmallista on pieni otos, tutkielman tekijän kokemattomuus tutkimusmenetelmästä sekä haastatellun perehdyttämiseen ja haastatteluun käytetyn ajan vähyys (Tuomi & Sarajärvi, 2009).

Koko kehittämisprosessia koskevana tutkimuskysymyksenä oli:

- Millä keinoilla kehittämistarpeet löydetään ja huomioidaan parhaalla mahdollisella tavalla kehittämisprosessin aikana?

Kehittämistuotoksessa näkyy selkeästi sekä teoriasta että empiirisistä osuuksista tulevat kehittämistarpeet. Näin kaikki kehittämistutkimukseen valitut tutkimusmenetelmät tuottivat kehittämisen kannalta hyödyllistä tietoa. Teorian ja empiirisesti hankittujen tulosten synteesiä tehtiin erityisen paljon, kun verkkomateriaaliin valittiin muita resursseja kuin oppisisältöjä. Verkkomateriaalin hypermediamuotoiselle oppisisällölle sen sijaan tuli

oletettua vähemmän kehittämistarpeita empiirisistä osuuksista. Empiirisessä ongelma-analyysissä I havaittiin, että tarvetta on oppimateriaaleille, jotka käsittelevät sekä Maan ulkopuolisten kohteiden kemiallista koostumusta että elämän esiintymismahdollisuuksia niissä. Empiirisessä ongelma-analyysissä II nousi esille vain yksi oppisisällön reaktioanimaatioihin liittyvä jatkokehittämistarve, kun taas muuhun kuin oppisisältöön liittyviä jatkokehittämistarpeita tuli useita.

On syytä pohtia, olisiko oppisisältöön liittyviä kehittämistarpeita noussut enemmän esille, jos verkkomateriaalia olisi tutkittu empiirisessä ongelma-analyysissä II todellisissa opetustilanteissa tapaustutkimuksilla. Näin kehittämistarpeita olisi tullut kemian opettajien ja opettajaopiskelijoiden lisäksi myös oppilailta. Yhdeksäsluokkalaiset oppilaat ovat verkkomateriaalin oppisisällön kohdejoukkoa, joten he ovat parhaita henkilöitä arvioimaan esimerkiksi oppisisällön kiinnostavuutta, ymmärrettävyyttä ja kuormittavuutta sekä siihen liitettyjen oppimistavoitteiden täyttymistä. Koska verkkomateriaalia ei testattu todellisissa opetustilanteissa, opetusalan kehittämistutkimus ei täytä laatukriteereitään. Muita kehittämistutkimuksen laatua heikentäviä tekijöitä ovat kehittämissyklien pieni määrä ja empiiristen osuuksien yksimenetelmällisyys pienillä otoksilla kummassakin kehittämissyklissä. Oppilaita olisi ollut hyvä käyttää tutkimuksen kohdejoukkona niin ensimmäisessä kuin myös toisessa empiirisessä ongelma-analyysissä, jolloin tulokset olisivat mahdollisesti voineet konvergoitua voimakkaammin. (Design-Based Research Collective, 2003; R. Johnson & Onwuegbuzie, 2004; Pernaa, 2013)

Kehittämisessä päästiin verkkomateriaaliin, jossa kemian oppisisältöjä on monipuolisesti laajennettu muiden luonnontieteiden opetussuunnitelmien mukaisilla sisällöillä ja sähköisen alustan mahdollisuuksia hyödyntävällä monimedialla kontekstissa, jonka voidaan teoreettisen ongelma-analyysin ja empiirisen ongelma-analyysin I tulosten perusteella olettaa kiinnostavan oppilaita. Soveltuvin verkkomateriaali on empiirisen ongelma-analyysin II perusteella luonnontieteellisen kielen ja argumentaation opetukseen. Sivutuotteena kehittämisprosessissa syntyi empiirisen ongelma-analyysin II perusteella potentiaalisesti innovatiivinen tapa käyttää kemian eri mallityyppejä rinnakkain animaation avulla. Kyseisellä sovelluksella on mahdollisesti käyttöä myös muissa oppimateriaaleissa. Verkkomateriaaliin kehitettiin oppisisällön lisäksi myös paljon muuta materiaalia, joka

tutkimuksessa havaittujen kehittämistarpeiden perusteella parantaa mahdollisuuksia käyttää verkkomateriaalia sellaisenaan kemian eheyttävässä opetuksessa. Kehittämistutkimuksen perusteella ei voida kuitenkaan tehdä johtopäätöstä, että verkkomateriaalia voi käyttää opetuksessa, koska testausta opetustilanteissa ei tehty. Oikea johtopäätös on, että verkkomateriaalia voi testata opetuksessa. Tähän voidaan käyttää perusteluna empiiristä ongelma-analyysiä II, jossa ei ilmennyt merkittäviä oppisisältöön ja työtapoihin liittyviä puutteita. Lisäksi kehittämistutkimuksen aikana löytyi peruskoulu ja lukio, jotka olisivat halunneet toimia yhteistyötahoina verkkomateriaalin testauksessa (Anonymisoitu henkilö a, yksityinen sähköpostiviesti, 2019; Anonymisoitu henkilö b, yksityinen sähköpostiviesti, 2019). Testaus peruskoulussa kaatui kuitenkin tutkimuslupahakemusprosessin hitauteen. Testaus ainoastaan lukiossa taas ei olisi ollut kehittämistutkimuksen kannalta mielekästä, koska peruskoulun yhdeksäsluokkalaiset ovat verkkomateriaalin ensisijainen kohdejoukko.

Kuten aiemmin todettiin, avoimeksi kehittämistutkimuksessa jäi verkkomateriaalin toimivuus todellisissa opetustilanteissa. Toinen kehittämisessä selvästi jäänyt aukko on verkkomateriaalin yhteyden vahvistaminen kemian kokeelliseen oppimiseen. Tämä ongelma tuli selvästi esille empiirisessä ongelma-analyysissä II. Asiaan liittyen tehtiin jatkokehittämispäätös yhden kokeellisuuteen liittyvän linkin lisäämisestä verkkomateriaaliin. Tätä ei kuitenkaan voida pitää riittävänä toimenpiteenä. Verkkomateriaaliin tulisi kehittää oppilastyöohjeita, jotta sitä voisi käyttää sellaisenaan oppitunnilla, johon kuuluu kokeellisuutta. Tämä edellyttäisi kuitenkin laajempaa tutkimusta ja kehittämistyötä, jota ei enää jatkokehittämistarpeiden määrittelyvaiheessa lähdetty tekemään aikataulullisista syistä. Verkkomateriaalin jatkotutkimuksen kannalta oleellisia tutkimuskysymyksiä voisivat olla:

1. Miten verkkomateriaali toimii yhdeksännen luokan kemian eheyttävässä opetuksessa?
2. Millaisia oppilastyöohjeita ja muita kokeellisuuteen liittyviä materiaaleja verkkomateriaaliin lisätään?

Koska kehittämistutkimus jätti avoimeksi edellä kuvatut kysymykset, ei ole mielekästä tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin opetuskäytön tulevaisuudesta. Kehittämistutkimuksen pohjalta voidaan vain todeta, että Suomessa on pieni joukko kemian opettajia ja opettajaopiskelijoita, jotka uskovat astrokemian ja -biologian mahdollisuuksiin kemian eheyttävän opetuksen konteksteina.

Lähteet

Aikenhead, G. (2006). *Science Education for Everyday Life: Evidence-based Practice*. New York: Teachers College Press.

Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-based research: A decade of progress in education research? *Education Researcher*, *41*(1), 16–25.

Anonymisoitu henkilö a. (2019). *Tutkimuslupa myönnetty*. Sähköpostiviesti. Lähetetty 21.5.2019. Vastaanottaja: V. Hartus.

Anonymisoitu henkilö b. (2019). *Astrokemia*. Sähköpostiviesti. Lähetetty 28.3.2019. Vastaanottajat: V. Hartus & J. Pernaa.

Arino de la Rubia, L. (2012). The Astrobiology in Secondary Classrooms (ASC) Curriculum: Focusing Upon Diverse Students and Teachers. *Astrobiology*, *12*(9), 892–899.

Arino de La Rubia, L., Butler, J., Gary, T., Stockman, S., Mumma, M., Pfiffner, S., … Edmonds, J. (2009). Development, Evaluation, and Dissemination of an Astrobiology Curriculum for Secondary Students: Establishing a Successful Model for Increasing the Use of Scientific Data by Underrepresented Students. *Bioastronomy 2007: Molecules, Microbes and Extraterrestrial Life ASP Conference Series*, *420*, 471–476.

Asikainen, T. (2016). *Kehittämistutkimus: Muovien kierrätyksen opettaminen ongelmalähtöisen oppimisen avulla lukio-opetuksessa* (Pro gradu -tutkielma). Helsingin yliopisto, Helsinki.

Bains, W. (2004). Many Chemistries Could Be Used to Build Living Systems. *Astrobiology*, *4*(2), 137–167.

Barge, L., Pulschen, A., Emygdio, A., Converge, C., Kishimoto, D., Bendia, A. G., … Stoupin, D. (2013). Life, the Universe, and Everything: An Education Outreach Proposal to Build a Traveling Astrobiology Exhibit. *Astrobiology*, *13*(3), 1–6.

Bell, B., & Cowie, B. (2000). *Formative Assessment and Science Education*. New York: Kluwer Academic Publishers.

Benner, S., Ricardo, A., & Carrigan, M. (2004). Is there a common chemical model for life in the universe? *Current Opinion in Chemical Biology*, *8*(6), 672–689.

Bennett, J., Hogarth, S., & Lubben, F. (2005). *Review summary: A systematic review of the effects of context-based and Science-Technology-Society (STS) approaches in the teaching of secondary science*. York: University of York.

Bennett, J., & Holman, J. (2002). Context-based approaches to the teaching of chemistry: What are they and what are their effects. Teoksessa J. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D. Treagust, & J. Van Driel (Toim.), *Chemical Education: Towards Researchbased Practice* (s. 165–184). Dordrecht: Kluwer Academic Publisher.

Billi, D., Berlingeri, A., Balbi, A., & Catena, L. (2014). Hands-On Space Experiments: Out-of-School Astrobiology Activities at the University of Rome Tor Vergata. *Journal of Astrobiology & Outreach*, *2*(1), 1–9.

Billings, L. (2009). Are we all there is? Astrobiology in culture. *AGU Fall Meeting Abstracts*, *1*, 1–10.

Blumberg, B. (2003). The NASA Astrobiology Institute: Early History and Organization. *Astrobiology*, *3*(3), 463–470.

Brack, A. (2012). Reflections on Astrobiology, Exobiology, Bioastronomy, and Cosmobiology. *Astrobiology*, *12*(4), 370–371.

Brown, A. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the Learning Sciences*, *2*(2), 141–178.

Burrows, S., Elbert, W., Lawrence, M., & Pöschl, U. (2009). Bacteria in the global atmosphere – Part 1: Review and synthesis of literature data for different ecosystems. *Atmosphric Chemistry and Physics*, *9*(1), 9263–9280.

Cady, S., Framer, J., Grotzinger, J., Schop, J., & Steele, A. (2004). Morphological Biosignatures and the Search for Life on Mars. *Astrobiology*, *3*(2), 351–368.

Cantell, H. (2015). Ainejakoisuus ja monialainen eheyttäminen opetuksessa. Teoksessa H. Cantell (Toim.), *Näin rakennat monialaisia oppimiskokonaisuuksia* (s. 11–15). Jyväskylä: PS-kustannus.

Carrapiçoa, F., Lourençob, A., Fernandesc, L., & Rodriguesd, T. (2002). A Journey to the Origins. The Astrobiology Paradigm in Education. *Proceedings of SPIE*, *4495*, 295–300.

Chopra, A., Lineweawer, C., Brocks, J., & Ireland, T. (2009). Palaeoecophylostoichiometrics Searching for the Elemental Composition of the Last Universal Common Ancestor. *Proceedings of the 9th Australian Space Science Conference Sydney 2009*, *1*, 91–104.

Christianson, G. (1976). Kepler's Somnium: Science Fiction and the Renaissance Scientist. *Science Fiction Studies*, *3*(1), 79–90.

Cockell, C. (1999). Life on Venus. *Planetary and Space Science*, *47*(12), 1487–1501.

Cockell, C. (2002). Astrobiology—a new opportunity for interdisciplinary thinking. *Space Policy*, *18*(4), 263–266.

Cockell, C. (2015). *Astrobiology: Understanding Life in the Universe*. Chennai: John Wiley & Sons.

Cockell, C., Biller, B., Bryce, C., Cousins, C., Direito, S., Forgan, D., … Wadsworth, J. (2018). The UK Centre for Astrobiology: A Virtual Astrobiology Centre. Accomplishments and Lessons Learned, 2011–2016. *Astrobiology*, *18*(2), 224–243.

Collins, A. (1992). Towards a design science education. Teoksessa E. Scanlon & T. O'Shea (Toim.), *New directions in educational technology* (s. 15–22). Berliini: Springer.

Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. *The Journal of the Learning Sciences*, *13*(1), 15–42.

Cronbach, L. (1951). Coefficient Alpha and the Internal Structure of Tests. *Psychometrika*, *16*(3), 297–334.

Dartnell, L., & Burchell, M. (2009). Survey on Astrobiology Research and Teaching Activities Within the United Kingdom. *Astrobiology*, *9*(8), 717–730.

Dartnell, L., Nordheim, T., Patel, M., Mason, J., Coates, A., & Jones, G. (2015). Constraints on a potential aerial biosphere on Venus: I. Cosmic rays. *Icarus*, *257*(1), 396–405.

De Jong, O. (2008). Context - Based Chemical Education: How to Improve It? *Chemical Education International*, *8*(1), 1–7.

Dede, C. (2004). If design-based research is the answer, what is the question? *The Journal of the Learning Sciences*, *13*(1), 105–114.

Des Marais, D., Nuth, J., Allamandola, L., Boss, A., Farmer, J., Hoehler, T., … Spormann, A. (2008). The NASA Astrobiology Roadmap. *Astrobiology*, *8*(4), 715–730.

Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An Emerging paradigm for educational inquiry. *Education Researcher*, *32*(1), 5–8.

Dewey, J. (1957). *Koulu ja yhteiskuta*. Helsinki: Otava.

Dick, S. (1980). The Origins of the Extraterrestrial Life Debate and its Relation to the Scientific Revolution. *Journal of the History of Ideas*, *41*(1), 3–27.

Dick, S. (1982). *Plurality of Words: The Extraterrestrial Life Debate from Democritus to Kant*. Cambridge: Cambridge University press.

Edelson, D. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *The Journal of the Learning Sciences*, *11*(1), 105–121.

Edelson, D. (2006). What we learn when we engage in design: Implications for assessing design research. Teoksessa J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney, & N. Nieveen (Toim.), *Educational Design Research* (s. 156–165). Abingdon: Routledge.

Eerola, J., Hartus, V., & Paavola, A. (2018). *Tapaustutkimus: Oppilaiden spatiaalisen hahmottamisen taitojen kehittäminen tietokoneavusteisella mallinnuksella limoneeni-kontekstissa* (Kemian mallintaminen ja visualisointi -seminaarityö). Helsingin yliopisto, Helsinki. Ei julkaistu.

Falvo, D. (2008). Animations and Simulations for Teaching and Learning Molecular Chemistry. *International Journal of Technology in Teaching and Learning*, *4*(1), 68–77.

Fergusson, J., Oliver, C., & Walter, M. (2012). Astrobiology Outreach and the Nature of Science: The Role of Creativity. *Astrobiology*, *12*(12), 1143–1153.

Foster, J., & Drew, J. (2009). Astrobiology Undergraduate Education: Students' Knowledge and Perceptions of the Field. *Astrobiology*, *9*(3), 1–10.

Freissinet, C., Glavin, D., Mahaffy, P., Miller, K., Eigenbrode, J., Summons, R., … MSL Science Team. (2015). Organic molecules in the Sheepbed Mudstone, Gale Crater, Mars. *Journal of Geophysical Research*, *120*(3), 495–514.

Gabani, P., & Singh, O. (2013). Radiation-resistant extremophiles and their potential in biotechnology and therapeutics. *Applied Microbiology and Biotechnology*, *97*(3), 993–1004.

Gaidos, E., Nealso, K., & Kirschvink, J. (1999). Life in Ice-Covered Oceans. *Science*, *284*(5420), 1631–1633.

Galilei, G. (1967). *Dialogue concerning the Two Chief World Systems*. Berkeley: University of California Press.

Gilbert, J. (2006). On the nature of "context" in chemical education. *International Journal of Science Education*, *28*(1), 957–976.

Glynn, S., & Winter, L. (2004). Contextual Teaching and Learning of Science in Elementary Schools. *Journal of elementary science education*, *16*(2), 51–63.

Gottschalk, G. (2012). *Bacterial Metabolism*. Berliini: Springer Science & Business Media.

Gresnigt, R., Taconis, R., van Keulen, H., Gravemeijer, K., & Baartman, L. (2014). Promoting science and technology in primary education: a review of integrated curricula. *Studies in Science Education*, *50*(1), 47–84.

Grinspoon, D., & Bullock, M. (2007). Astrobiology and Venus Exploration. Teoksessa L. Esposito, E. Stofan, & T. Cravens (Toim.), *Exploring Venus as a Terrestrial Planet* (s. 191–206). Washington: American Geophysical Union.

Gutwill-Wise, J. (2001). The Impact of Active and Context-Based Learning in Introductory Chemistry Courses: An Early Evaluation of the Modular Approach. *Journal of Chemical Education*, *78*(5), 687.

Haatainen, O. (2014). *Kehittämistutkimus: Verkkomateriaali suklaasta eheyttävään kemian opetukseen* (Pro gradu -tutkielma). Helsingin yliopisto, Helsinki.

Hakkarainen, K., Bollström-Huttunen, M., Pyysalo, R., & Lonka, K. (2005). *Tutkiva oppiminen käytännössä. Matkaopas opettajille*. Helsinki: WSOY.

Halinen, I., & Jääskeläinen, L. (2015). Opetussuunnitelmauudistus 2016: Sivistysnäkemys ja opetuksen eheyttäminen. Teoksessa H. Cantell (Toim.), *Näin rakennat monialaisia oppimiskokonaisuuksia* (s. 19–36). Jyväskylä: PS-kustannus.

Hansen, C., Esposito, L., Aye, K., Colwell, J., Hendrix, A., Portyankina, G., & Shemansky, D. (2017). Investigation of diurnal variability of water vapor in Enceladus' plume by the Cassini ultraviolet imaging spectrograph. *Geophysical Research Letters*, *44*(2), 672–677.

Hanslmeier, A. (2013). *Astrobiology: The Search for Life in the Universe*. Sharja: Bentham Science Publishers.

Harju, J. (1998). Tähtipöly ja elämän reunaehdot. *Tieteessä tapahtuu*, *16*(3), 31–36.

Harman, P., & Devore, E. (2009). Astrobiology as a Context for High School Science: Teachers' Professional Development. *Bioastronomy 2007: Molecules, Microbes and Extraterrestrial Life ASP Conference Series*, *420*, 463–466.

Hartonen, M., & Ojala, M. (2014). Perusopetuksen ja lukiokoulutuksen opettajat kevätluku kaudella 2013. Teoksessa T. Kumpulainen (Toim.), *Opettajat Suomessa 2013* (s. 64–93). Tampere: Opetushallitus & Suomen yliopistopaino.

Hartus, V. (2018). *Venus-planeetan pilvien soveltavaa astrokemiaa – tarkastelussa hypoteettinen elämä* (Kandidaatintutkielma). Helsingin yliopisto, Helsinki. Ei julkaistu.

Hartus, V., & Teittinen, H. (2018). *Muiden aineiden integroiva opetus kemian kanssa. Opettajaopiskelijoiden käsitykset ja ideat* (Opettaja työnsä tutkijana -seminaarityö). Helsingin yliopisto, Helsinki. Ei julkaistu.

Hellström, M. (2008). *Sata sanaa opetuksesta: keskeisten käsitteiden käsikirja*. Jyväskylä: PS-kustannus.

Helsingin yliopisto. (2018a). Johdatus astrobiologiaan. www-sivu. Noudettu 25.5.2019 https://courses.helsinki.fi/fi/fys4014/125201059.

Helsingin yliopisto. (2018b). Johdatus astrobiologiaan (3 op) kesä 2018. Noudettu 25.5.2019 https://courses.helsinki.fi/fi/ayfys4014/123883946

Herron, J. (1996). *The Chemistry Classroom*. Washington: American Chemical Society.

Hirsjärvi, S., Remes, P., & Sajavaara, P. (1997). *Tutki ja kirjoita*. Helsinki: Kirjayhtymä.

Hopea-Manner, A. (2019). *Kemian opetuksen tila vuonna 2018: Kartoitus kemian opettajien käsityksistä* (Pro gradu -tutkielma). Helsingin yliopisto, Helsinki.

Horodyskyj, L., Mead, C., Belinson, Z., Buxner, S., Semken, S., & Anbar, A. (2018). Habitable Worlds: Delivering on the Promises of Online Education. *Astrobiology*, *18*(1), 86–99.

Houtkooper, J., & Schulze-Makuch, D. (2007). A possible biogenic origin for hydrogen peroxide on Mars: the Viking results reinterpreted. *International Journal of Astrobiology*, *6*(2), 147–152.

Hunten, D. (1983). *Venus*. Tucson: University of Arizona Press.

Jia, X., Kivelson, M., Khurana, K., & Kurth, W. (2018). Evidence of a plume on Europa from Galileo magnetic and plasma wave signatures. *Nature Astronomy*, *2*(1), 459–464.

Johanson, G., & Brooks, G. (2010). Initial Scale Development: Sample Size for Pilot Studies. *Educational and Psychological Measurement*, *70*(3), 394–400.

Johnson, E. (2002). *Contextual teaching and learning: what it is and why it's here to stay*. Thousand Oaks: Corwin Press.

Johnson, R., & Onwuegbuzie, A. (2004). Mixed method research: A research paradigm whose time has come. *Education Researcher*, *33*(7), 14–26.

Johnstone, A. (2000). Teaching of chemistry - logical or psychological? *Chemistry education: research and practice in Europe*, *1*(1), 9–15.

Jolliffe, A., Ritter, J., & Stevens, D. (2001). *The online learning handbook: developing and using Web-based learning*. Lontoo: Kogan Page.

Juuti, K., Kairavuori, S., & Tani, S. (2015). Tiedonalalähtöinen eheyttäminen. Teoksessa H. Cantell (Toim.), *Näin rakennat monialaisia oppimiskokonaisuuksia* (s. 77–93). Jyväskylä: PS-kustannus.

Juuti, K., & Lavonen, J. (2006). Design-based research in science education: One step towards methodology. *NorDiNa*, *4*(1), 54–68.

Kaakkuri-Knuuttila, M., & Heinlahti, M. (2006). *Mitä on tutkimus? Argumentaatio ja tieteenfilosofia*. Helsinki: Gaudeamus.

Kabata, L. (2014). *Kehittämistutkimus: Verkkomateriaali jätevedenpuhdistukseen ongelmalähtöiseen opetukseen* (Pro gradu -tutkielma). Helsingin yliopisto, Helsinki.

Kaltenegger, L. (2012). Planetary Atmospheres and Chemical Markers for Extraterrestrial Life. Teoksessa I. Smith, C. Cockell, & S. Leach (Toim.), *Astrochemistry and Astrobiology* (s. 145–168). Heidelberg: Springer Science & Business Media.

Kangas, M., Kopisto, K., & Krokfors, L. (2015). Eheyttäminen ja laajentuvat oppimisympäristöt. Teoksessa H. Cantell (Toim.), *Näin rakennat monialaisia oppimiskokonaisuuksia* (s. 37–45). Jyväskylä: PS-kustannus.

Kariuki, P., & Hopkins, B. (2010). The Effects of an Interdisciplinary Program on Secondary Art Students Participating in an Interdisciplinary Chemistry-Art Program and in an Art Only Program. *Annual Meeting of the Mid-South Educational Research Association*, 1–25.

Kelly, A. (2004). Design research in education: Yes, but is it methodological. *The Journal of the Learning Sciences*, *13*(1), 115–128.

Kemian opettajat -vertaisryhmä. (2019). Tietoja. Facebook-sivu. Noudettu 21.12.2018 https://www.facebook.com/groups/kemianopettaja/about/.

Kinnunen, K. (2017). Näin Lieksan löytö varmistui rautameteoriitiksi. *Geolöytäjä*, (1), 1–3.

Kirschvink, J., & Weiss, B. (2002). Mars, Panspermia, and the Origin of life: Where did it all begin? *Palaeontologia Electronica*, *4*(2), 8–15.

Krasnopolsky, V., Maillard, J., & Owen. (2004). Detection of methane in the martian atmosphere: evidence for life? *Icarus*, *172*(2), 537–547.

Kujamäki, P. (2009). Opetussuunnitelman aihekokonaisuudet ja opetuksen eheyttäminen. Teoksessa O. Moisio & J. Suoranta (Toim.), *Kriittisen pedagogiikan kysymyksiä 3* (s. 61-90). Tampere: Tampereen yliopiston kasvatustieteiden laitos.

Lahdes, E. (1977). *Peruskoulun uusi opetusoppi*. Helsinki: Otava.

Lavonen, J., Byman, R., Juuti, K., Meisalo, V., & Uitto, A. (2005). Pupil interest in physics: a survey in Finland. *Nordic Studies in Science Education*, *1*(2), 76–89.

Limaye, S., Mogul, R., Smith, D., Ansari, A., Slowik, G., & Vaishampayan, P. (2018). Venus' Spectral Signatures and the Potential for Life in the Clouds. *Astrobiology*, *18*(10), 1–18.

Lin, Y., Son, J., & Rudd II, J. (2016). Asymmetric translation between multiple representations in chemistry. *International Journal of Science Education*, *38*(4), 644–662.

Lincoln, Y., & Guba, E. (1985). *Naturalistic inquiry*. Beverly Hills: Sage.

Lineweawer, C., & Chopra, A. (2012). What Can Life on Earth Tell Us About Life in the Universe? Teoksessa J. Seckbach (Toim.), *Genesis - In The Beginning: Precursors of Life, Chemical Models and Early Biological Evolution* (s. 799–815). Dordrecht: Springer Science & Business Media.

Lonka, K. (2015). *Oivaltava oppiminen*. Keuruu: Otava.

Lonka, K., Hietajärvi, L., Hohti, R., Nuorteva, M., Raunio, A., Sandström, N., … Westling, S. (2015). Ilmiölähtöisesti kohti innostavaa oppimista. Teoksessa H. Cantell (Toim.), *Näin rakennat monialaisia oppimiskokonaisuuksia* (s. 49–76). Jyväskylä: PS-kustannus.

Lopes, R. (2014). Io: The Volcanic Moon. Teoksessa T. Spohn, D. Breuer, & T. Johnson (Toim.), *Encyclopedia of th Solar System* (s. 779–792). Amsterdam: Elsevier.

Mann, A. (2017). Inner Workings: Icy ocean worlds offer chances to find life. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *104*(18), 4566–4568.

McKay, C., & Smith, H. (2005). Possibilities for methanogenic life in liquid methane on the surface of Titan. *Icarus*, *178*(1), 274–276.

McKimm, J., Jollie, C., & Cantillon, P. (2003). Web based learning. *British Medical Journal*, *326*(1), 870–873.

Montgomery, S. (1999). *The Moon and the Western Imagination*. Tucson: University of Arizona Press.

Morowitz, H., & Sagan, C. (1967). Life in the Clouds of Venus? *Nature*, *215*, 1259–1260.

Myllyntausta, S., & Peuhkuri, T. (2015). Tutkitaan yhdessä avaruutta ja lähiympäristöä: Design-suuntautuneen pedagogiikan esimerkkejä. Teoksessa H. Cantell (Toim.), *Näin rakennat monialaisista oppimiskokonaisuuksia* (s. 157–171). Jyväskylä: PS-kustannus.

Naganuma, T., & Sekine, Y. (2010). Hydrocarbon Lakes and Watery Matrices/Habitats for Life on Titan. *Journal of Cosmology*, *5*(1), 905–911.

Norman, L. (2011). Is there life on … Titan? *Astronomy & Geophysics*, *52*(1), 39–42.

Offerdahl, E., Prather, E., & Slater, T. (2003). Students' Pre-Instructional Beliefs and Reasoning Strategies About Astrobiology Concepts. *The Astronomy Education Review*, *1*(2), 5–27.

Oliveira, C. (2008). Astrobiology for the 21st Century. *Communicating Astronomy with the Public Journal*, *2*, 24–25.

Oliveira, C., & Barufaldi, J. (2009). Aliens are us. An innovative course in astrobiology. *International Journal of Astrobiology*, *8*(1), 51–61.

Oliver, C., & Fergusson, J. (2007). Astrobiology: A pathway to adult science literacy? *Acta Astronautica*, *61*(7–8), 716–723.

Opetus- ja kulttuurimisteriö. (2019). Korkeakoulut, tiedelaitokset ja muut julkiset tutkimusorganisaatiot. www-sivu. Noudettu 25.5.2019 https://minedu.fi/korkeakoulut-ja-tiedelaitokset.

Opetushallitus. (2015). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2015*.

Opetushallitus. (2016). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014*.

Paiva, J., Morais, C., & Moreira, L. (2013). Specialization, Chemistry, and Poetry: Challenging Chemistry Boundaries. *Journal of Chemical Education*, *90*(12), 1577–1579.

Pernaa, J. (2013). Kehittämistutkimus tutkimusmenetelmänä. Teoksessa J. Pernaa (Toim.), *Kehittämistutkimus opetusalalla* (ss. 9–26). Juva: PS-kustannus.

Pernaa, J. (2019). *Gradu*. Sähköpostiviesti. Lähetetty 19.5.2019. Vastaanottaja: V. Hartus.

Pernaa, J., Aksela, M., & Ghulam, S. (2017). *Introduction to Molecular Modeling in Chemistry Education*. Jokioinen: e-Oppi & Edumendo Publishing.

Peterson, R. (1994). A Meta-Analysis of Cronbach's Coefficient Alpha. *Journal of Consumer Research*, *21*(2), 381–391.

Porco, C., Dones, L., & Mitchell, C. (2017). Could It Be Snowing Microbes on Enceladus? Assessing Conditions in Its Plume and Implications for Future Missions. *Astrobiology*, *17*(9), 876–901.

Prather, E., & Slater, T. (2002). An Online Astrobiology Course for Teachers. *Astrobiology*, *2*(2), 215–223.

Price, C. (2009). Astrobiology for Knowledge Transfer. *Bioastronomy 2007: Molecules, Microbes and Extraterrestrial Life ASP Conference Series*, *420*(1), 467–470.

Pruuki, L. (2008). *Ilo opettaa: tietoa, taitoa ja työkaluja*. Helsinki: Edita.

Rampelotto, P. (2013). Extremophiles and Extreme Environments. *Life*, *3*(3), 482–485.

Rauste-von Wright, M., von Wright, J., & Soini, T. (2003). *Oppiminen ja koulutus*. Helsinki: WSOY.

Ridderstad, M. (2012). Elämän synty avaruudessa on edelleen arvoitus. *Tieteessä tapahtuu*, *30*(1), 29–32.

Rodrigues, T., & Carrapiço, F. (2006). How can we teach astrobiology and survive? *Proceedings of SPIE*, *6309*, 1–5.

Rosen, E. (1967). *Kepler's Somnium. The dream, or posthumous work on lunar astronomy*. Madison: University of Wisconsin Press.

Rothschild, L. (2007). Extremophiles: defining the envelope for the search for life in the universe. Teoksessa R. Pudritz, P. Higgs, & J. Stone (Toim.), *Planetary Systems and the Origins of Life* (s. 113–134). Cambridge: Cambridge University press.

Salo, A. (1937). *Alakansakoulun opetussuunnitelma: kokonaisopetuksen periaatteen mukaan*. Helsinki: Otava.

Schoepp-Cothenet, B., van Lis, R., Philippot, P., Magalon, A., Russell, M., & Nitschke, W. (2012). The ineluctable requirement for the trans-iron elements molybdenum and/or tungsten in the origin of life. *Scientific Reports*, *2*, 263.

Schulze-Makuch, D. (2010). Io: Is Life Possible Between Fire and Ice? *Journal of Cosmology*, *5*(1), 912–919.

Schulze-Makuch, D., Grinspoon, D., Abbas, O., Irwin, L., & Bullock, M. (2004). A Sulfur-Based Survival Strategy for Putative Phototrophic Life in the Venusian Atmosphere. *Astrobiology*, *4*(1), 11–18.

Schulze-Makuch, D., & Irwin, L. (2002). Reassessing the Possibility of Life on Venus: Proposal for an Astrobiology Mission. *Astrobiology*, *2*(2), 197–202.

Schulze-Makuch, D., & Irwin, L. (2008). *Life in the Universe: Expectations and Constraints*. Heidelberg: Springer Science & Business Media.

Schulze-Makuch, D., Turse, C., Houtkooper, J., & McKay, C. (2008). Testing the H2O2-H2O Hypothesis for Life on Mars with the TEGA Instrument on the Phoenix Lander. *Astrobiology*, *8*(2), 205–214.

Schwartz, R., Milne, C., Homer, B., & Plass, J. (2013). Designing and Implementing Effective Animations and Simulations for Chemistry Learning. Teoksessa J. Suits & M. Sanger (Toim.), *Pedagogic Roles of Animations and Simulations in Chem Courses* (s. 43–76). Washington: American Chemical Society.

Seager, S., Schrenk, M., & Bains, W. (2012). An Astrophysical View of Earth-Based Metabolic Biosignature Gases. *Astrobiology*, *12*(1), 61–82.

Shematovich, V., & Johnson, R. (2001). Near-Surface Oxygen Atmosphere at Europa. *Advances in Space Research*, *27*(11), 1881–1888.

Slepkov, A. (2013). Integrated Testlets and the Immediate Feedback Assessment Technique. *American Journal of Physics*, *81*(10), 782–794.

Smith, K. (2018). Liquid water under Mars' southern ice cap. *Science*, *361*(6401), 463–464.

Staley, J. (2003). Astrobiology, the transcendent science: the promise of astrobiology as an integrative approach for science and engineering education and research. *Current Opinion in Biotechnology*, *14*(3), 347–354.

Stuurman, C., Osinski, G., Holt, J., Levy, J., Brothers, T., Kerrigan, M., & Campbell, B. (2016). SHARAD detection and characterization of subsurface water ice deposits in Utopia Planitia, Mars. *Geophysical Research Letters*, *43*(18), 9484–9491.

Summons, R., Albrecht, P., McDonald, G., & Moldowan, M. (2008). Molecular Biosignatures. Teoksessa O. Botta, J. Bada, J. Gomez-Elvira, E. Javaux, F. Selsis, & R. Summons (Toim.), *Strategies of Life Detection* (s. 133–159). Boston: Springer.

Taber, K. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, *14*(1), 156.

Tarter, J. (2004). Astrobiology and SETI. *New Astronomy Reviews*, *48*(11–12), 1543–1549.

Tasker, R., & Dalton, R. (2008). Visualizing the Molecular World – Design, Evaluation, and Use of Animations. Teoksessa J. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Toim.),

Visualization: Theory and Practice in Science Education (s. 103–131). Berliini: Springer Science & Business Media.

Tilastokeskus. (2014). *Väestön tieto- ja viestintätekniikan käyttö 2014*.

Tsitini, S., & Skoumios, M. (2015). Primary Students' Conceptions about Issues in Astrobiology. *Advances in Social Sciences Research Journal*, *2*(1), 97–106.

Tuomi, J., & Sarajärvi, A. (2009). *Laadullinen tutkimus ja sisältöanalyysi*. Helsinki: Tammi.

Turun yliopisto. (2011). ASBI0000 Astrobiologian sivuainekokonaisuus, 25 op. Noudettu 25.5.2019 https://nettiopsu.utu.fi/opas/opintoKokonaisuus.htm?rid=7734&uiLang=fi&lang=fi&lvv=2011.

Tähkä, T. (2012). Asennetta kemian opiskeluun. Teoksessa P. Kärnä, L. Houtsonen, & T. Tähkä (Toim.), *Luonnontieteiden opetuksen kehittämishaasteita 2012. Koulutuksen seurantaraportti 2012:10* (s. 159–171). Tampere: Opetushallitus & Suomen yliopistopaino.

Vago, J., & Westall, F. (2017). Habitability on Early Mars and the Search for Biosignatures with the ExoMars Rover. *Astrobiology*, *17*(6–7), 471–510.

Valli, R. (2001). *Johdatus tilastolliseen tutkimukseen*. Jyväskylä: PS-kustannus.

Venville, G., Wallace, J., Rennie, L., & Malone, J. (2002). Curriculum integrations: Eroding the high ground of science as a school subject? *Studies in Science Education*, *37*(1), 43–84.

Vygotsky, L. (1994). Principles of social education for deaf and dumb children in Russia. Teoksessa R. van der Veer & J. Valsiner (Toim.), *The Vygotsky Reader* (s. 19–26). Oxford: Blackwell.

Wang, F., & Hannafin, M. (2005). Design-based research and technology-enhanced learning environments. *Educational Technology Research and Development*, *53*(4), 5–23.

Westall, F., Foucher, F., Bost, N., Bertrand, M., Loizeau, D., Vago, J., … Cockell, C. (2015). Biosignatures on Mars: What, Where, and How? Implications for the Search for Martian Life. *Astrobiology*, *15*(11), 998–1029.

Wickramasinghe, N., & Wickramasinghe, J. (2008). On the possibility of microbiota transfer from Venus to Earth. *Astrophysics and Space Science*, *317*(1), 133–137.

Wilkinson, J. (2016). *The Solar System in Close-Up*. Basel: Springer.

Williams, D. (2016). Teoksessa *Venus Fact Sheet*. Noudettu 13.12.2018 https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/venusfact.html.

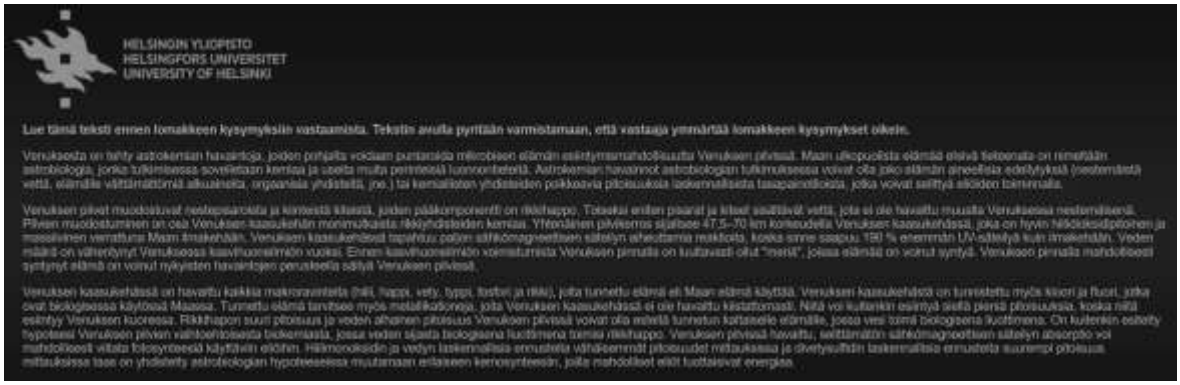
Wolf, C., Joye, D., Smith, T., & Fu, Y. (2016). *The SAGE Handbook of Survey Methodology*. Lontoo: Sage.

Yung, Y., & McElroy, M. (1977). Stability of an oxygen atmosphere on ganymede. *Icarus*, *30*(1), 97–103.

Zhang, X., Liang, M., Mills, F., Belyaev, D., & Yung, Y. (2012). Sulfur chemistry in the middle atmosphere of Venus. *Icarus*, *217*(2), 714–739.

Liitteet

Liite 1. Kyselylomake empiirisessä ongelma-analyysissä I



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

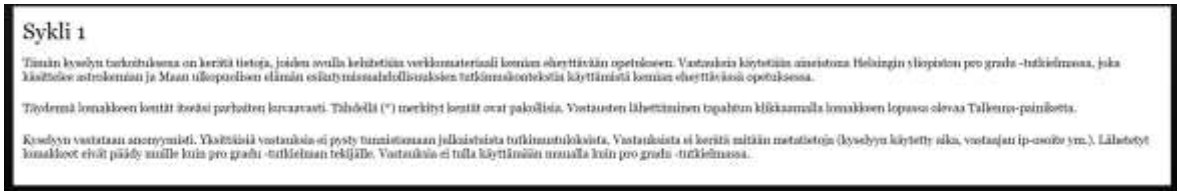
Lue tämä teksti ennen lomakkeen kysymyksiin vastaamista. Tekstin avulla pyritään varmistamaan, että vastaaja ymmärtää lomakkeen kysymykset oikein.

Venuksesta on tehty astrokemian havaintoja, joiden pohjalta voidaan puntarioida mikrobien elämän esiintymismahdollisuutta Venuksen pilvissä. Maan ulkopuolista elämää etsivä tieteenala on nimeltään astrobiologia, jonka tutkimuksessa sovelletaan kemiaa ja useita muita perinteisiä luonnontieteitä. Astrokemian havainnot astrobiologian tutkimuksessa voivat olla joko elämän aineellisia edellytyksiä (vesimolekyylit vettä, elämälle välttämättömiä alkuaineita, orgaanisia yhdisteitä, jne.) tai kemiallisten yhdisteiden poikkeavia pitoisuuksia laskennallisista tasapainotiloista, jotka voivat selittyä eläimien toiminnalla.

Venuksen pilvet muodostuvat neste-pisaroista ja kiinteistä kiteistä, joiden pääkomponentti on rikkihappo. Toisaalta erilaiset pisarat ja kiteet sisältävät vettä, jota ei ole havaittu muualta Venuksessa nestemäisenä. Pilven muodostuminen on osa Venuksen kasvihuoneilmiön monimutkaista rikkiyhdisteiden kemiaa. Yhtenäinen pilvikerros sijaitsee 47.5–70 km korkeudella Venuksen kasvihuoneilmakehässä, joka on hyvin hiilidioksidipitoinen ja massiivinen verrattuna Maan ilmakehään. Venuksen kasvihuoneilmakehässä tapahtuu paljon sähkömagneettisen säteilyn aiheuttamia reaktioita, koska sinne saapuu 190 % enemmän UV-säteilyä kuin ilmakehään. Veden määrä on vähentynyt Venuksessa kasvihuoneilmiön vuoksi. Ennen kasvihuoneilmiön voimistumista Venuksen pinnalla on kuitenkin ollut "meriä", joissa elämää on voinut syntyä. Venuksen pinnalla mahdollisesti syntynyt elämä on voinut nykyisten havaintojen perusteella säilyä Venuksen pilvissä.

Venuksen kasvihuoneilmakehässä on havaittu kaikkia makroravinteita (hiili, happi, typpi, fosfori ja rikki), jotka tunnetu elämä eli Maan elämä käyttää. Venuksen kasvihuoneilmakehässä on tunnistettu myös kloori ja fluori, jotka ovat biologisessa käytössä Maassa. Tunnettu elämä tarvitsee myös metallikationeja, jotka Venuksen kasvihuoneilmakehässä ei ole havaittu kiistattomasti. Niitä voi kuitenkin esiintyä siellä pienä pitoisuuksia, koska niitä esiintyy Venuksen kuoressa. Rikkihapon suuri pitoisuus ja veden alhainen pitoisuus Venuksen pilvissä voivat olla esteitä tunnetun kaltaisille elämälle, jossa vesi toimii biologisena liuottimena. On kuitenkin esitetty hypoteesi Venuksen pilven vähähoitoisesta biokemiasta, jossa veden sijasta biologisena liuottimena toimii rikkihappo. Venuksen pilvissä havaittu, selittämätön sähkömagneettisen säteilyn absorpio voi mahdollisesti vitata fotosynteesiä käyttävien eliöiden. Hiilimonoksidin ja vedyn laskennallisia ennusteita vähäisemmät pitoisuudet mittauksissa ja divetysulfidin laskennallisia ennusteita suurempi pitoisuus mittauksissa taas on yhdistetty astrobiologian hypoteesissa muutamaan erilaiseen kemosynteesiin, joilla mahdolliset eliöt tuottaisivat energiaa.

Liitekuva 1: Kyselylomakkeen alkuteksti



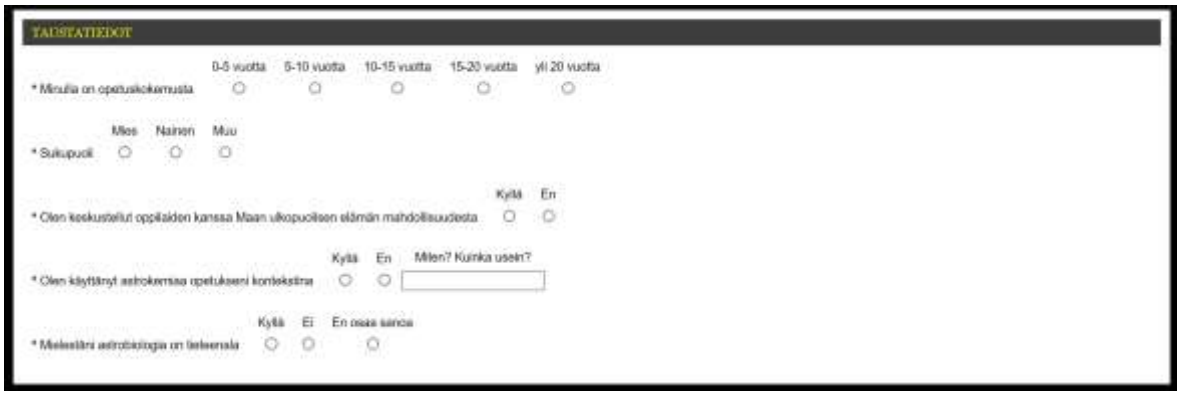
Sykli 1

Tämän kyselyn tarkoituksena on kerätä tietoja, joiden avulla kehitetään verkkomateriaali kemian oheyttävään opetukseen. Vastauksia käytetään ainoastaan Helsingin yliopiston pro gradu -tutkielmassa, joka käsittelee astrokemian ja Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksien tutkimuskontekstin käyttämistä kemian oheyttävässä opetuksessa.

Täytettävä lomakkeen kentät itsestä parhaiten kerrovasti. Tähdellä (*) merkityt kentät ovat pakollisia. Vastausten lähettäminen tapahtuu klikkaamalla lomakkeen lopussa olevaa Tallenna-painiketta.

Kyselyyn vastataan anonyymisti. Yksittäisiä vastauksia ei pysty tunnistamaan julkaistuista tutkimustuloksista. Vastauksista ei kerätä mitään metatietoja (kyselyyn käytetty sika, vastaajan ip-osoite ym.). Lähetetyt lomakkeet eivät päädy muille kuin pro gradu -tutkielman tekijälle. Vastauksia ei tulla käyttämään muualla kuin pro gradu -tutkielmassa.

Liitekuva 2: Kyselylomakkeen johdantoteksti



TAUSTATIEDOT

* Minulla on opetuskokemusta	0-5 vuotta	5-10 vuotta	10-15 vuotta	15-20 vuotta	yli 20 vuotta
* Sukupuoli	Mies	Nainen	Muu		
* Olen keskustellut oppilaiden kanssa Maan ulkopuolisen elämän mahdollisuudesta	Kyllä	En			
* Olen käyttänyt astrokemiaa opetukseni kontekstina	Kyllä	En	Milen? Kuinka usein?		
* Mielestäni astrobiologia on tieteenala	Kyllä	Ei	En osaa sanoa		

Liitekuva 3: Kyselylomakkeen taustatieto-osio

EHEYTTÄVÄ OPETUS

	Samaa mieltä	Jokseenkin samaa mieltä	Ei samaa eikä eri mieltä	Jokseenkin eri mieltä	Eri mieltä
* Työtapaohjeita eheyttävään opetukseen on saatavilla huonosti	○	○	○	○	○
* On helppoa ideoida aiheita monialaisiin oppimiskokemuksiin	○	○	○	○	○
* On helppoa ideoida työtapoja monialaisiin oppimiskokemuksiin	○	○	○	○	○
* Internetistä löytyy helposti materiaalia, jota voi soveltaa eheyttävään opetukseen	○	○	○	○	○
* Kemian oppikirjoissa kemian tiedot kontekstualisoidaan yleispuolisesti	○	○	○	○	○
* Kemian oppikirjat tarjoavat paljon materiaalia eheyttävään opetukseen	○	○	○	○	○
* Opettajilla ei ole riittävästi aikaa monialaisten oppimiskokemusten suunnittaluun	○	○	○	○	○
* Internetistä löytyy helposti materiaalia, jota voi käyttää sellaisenaan eheyttävään opetukseen	○	○	○	○	○
* Kemian oppikirjat edistävät oppilaan kykyä siirtää luonnontieteellisiä tietoja kontekstista toiseen	○	○	○	○	○
* On haastavaa ideoida aiheita monialaisiin oppimiskokemuksiin, joissa mukana on vähintään kaksi oppiainetta kemian lisäksi	○	○	○	○	○

Liitekuva 4: Kyselylomakkeen eheyttävää opetusta käsittelevä osio

ASTROKEMIA JA ASTROBIOLOGIA

	Samaa mieltä	Jokseenkin samaa mieltä	Ei samaa eikä eri mieltä	Jokseenkin eri mieltä	Eri mieltä
* Astrokemiaa voi käyttää kemian perusopetuksen kontekstina	○	○	○	○	○
* Astrobiologiaa (Maan ulkopuolisen elämän esiintymismahdollisuuksia) voi käyttää kemian perusopetuksen kontekstina	○	○	○	○	○
* Uskon, että Maan ulkopuoleen elämän esiintymismahdollisuudet kiinnostavat oppilaita	○	○	○	○	○
* Uskon, että Avaruskuvan kemiallinen koostumus kiinnostaa oppilaita	○	○	○	○	○
* Astrokemiaan liittyvää oppimateriaalia on saatavilla paljon	○	○	○	○	○
* Astrobiologiaan liittyvää oppimateriaalia on saatavilla paljon	○	○	○	○	○
* On vaikeaa linkittää opetuksessa kemian käsitteitä elämään ja sen monimuotoisuuteen	○	○	○	○	○
* Avaruusteema kiinnostaa oppilaita	○	○	○	○	○

Liitekuva 5: Kyselylomakkeen astrokemiaa ja astrobiologiaa käsittelevä osio

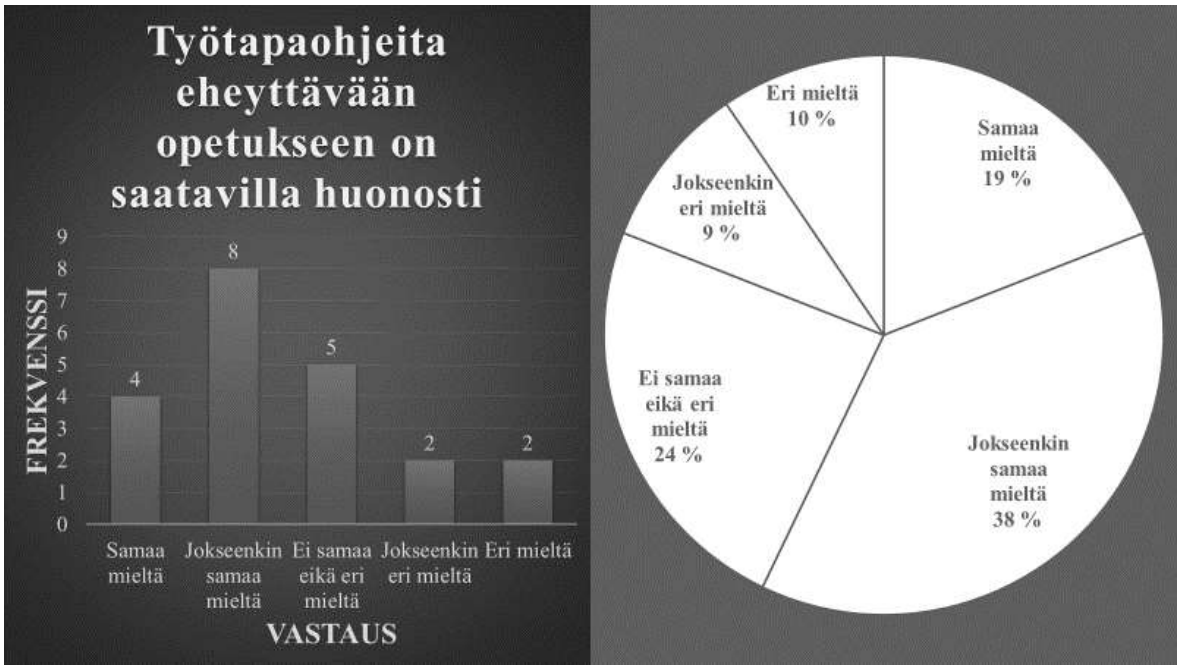
TIETOJEN LÄHETYS

Tallenna

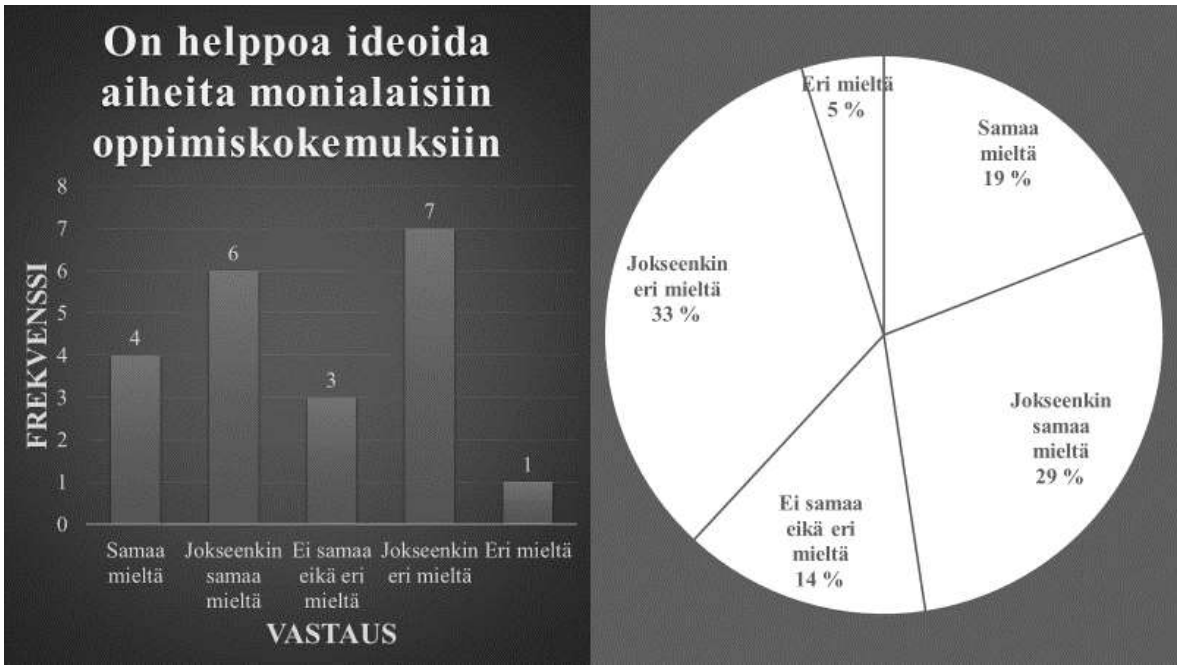
© Eduix Oy

Liitekuva 6: Kyselylomakkeen loppu

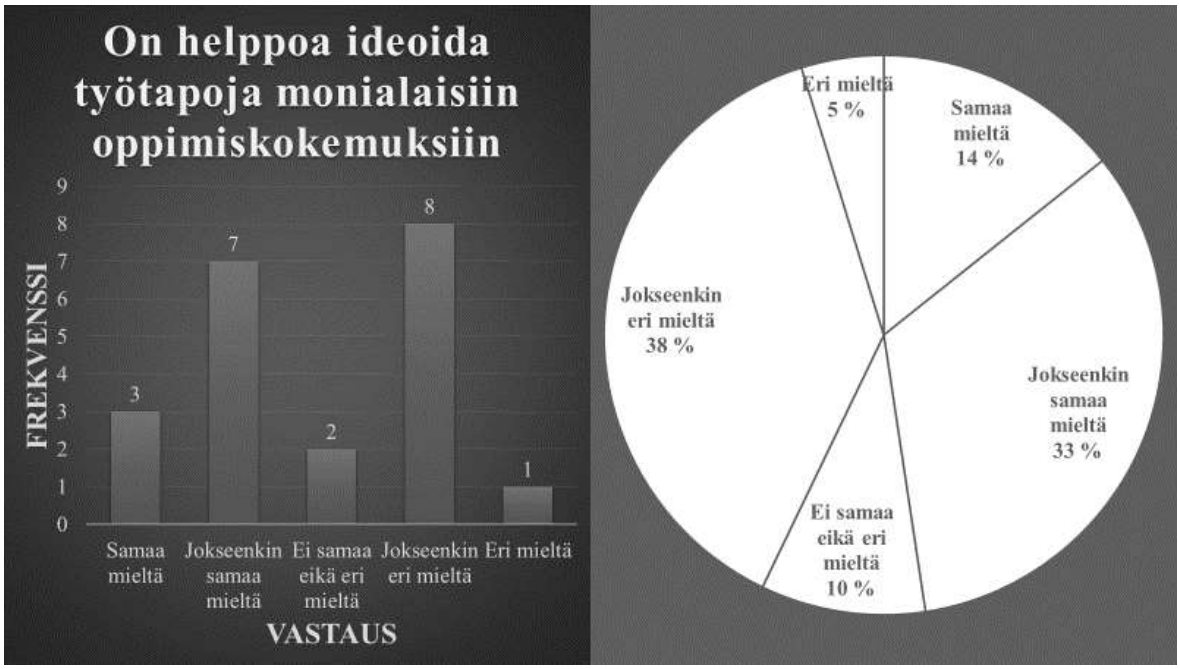
Liite 2. Vastausten absoluuttiset ja suhtteelliset frekvenssit empiirisen ongelma-analyysin I kyselyn kohdissa



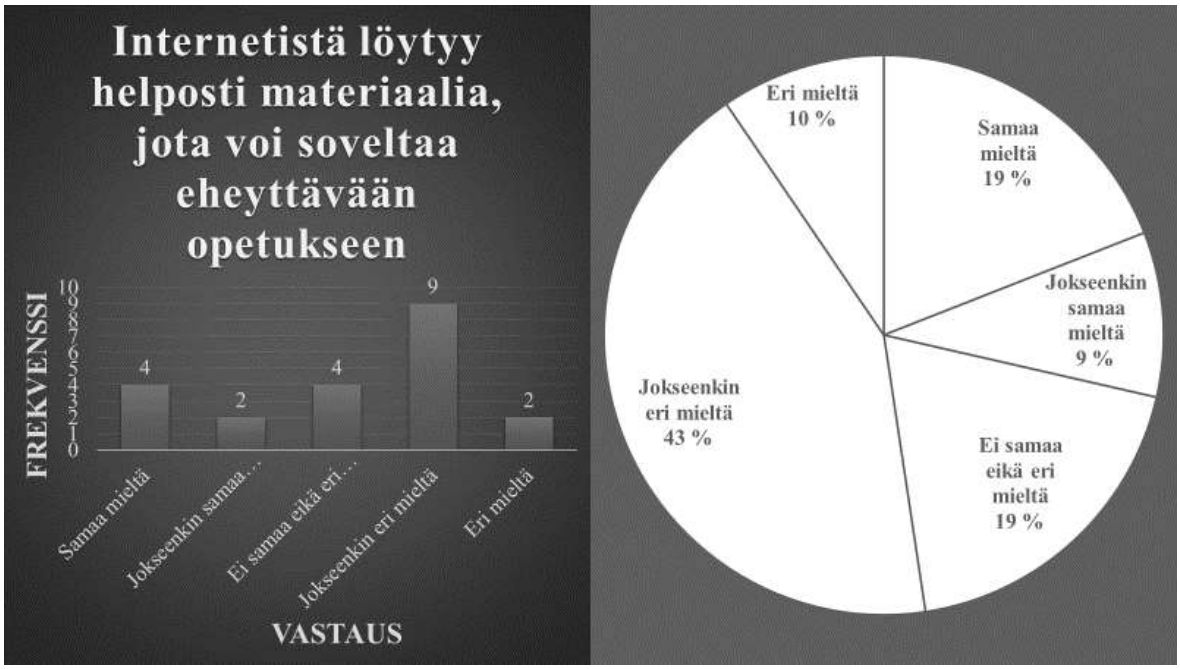
Liitekuva 7: Frekvenssijakauma 1



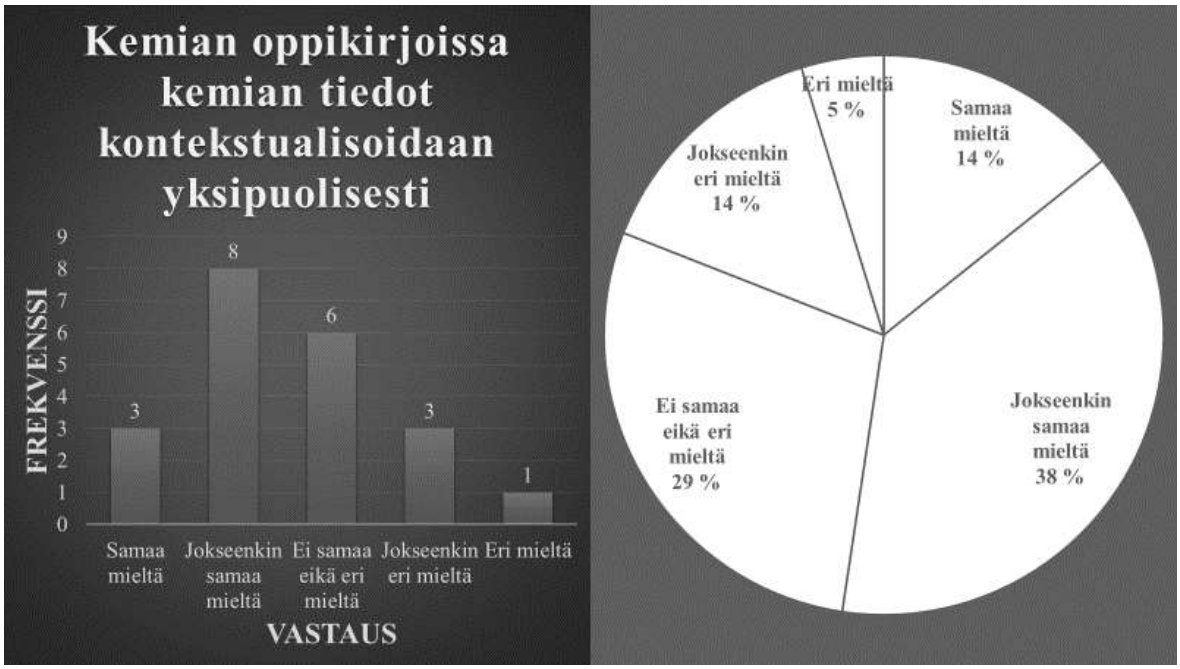
Liitekuva 8: Frekvenssijakauma 2



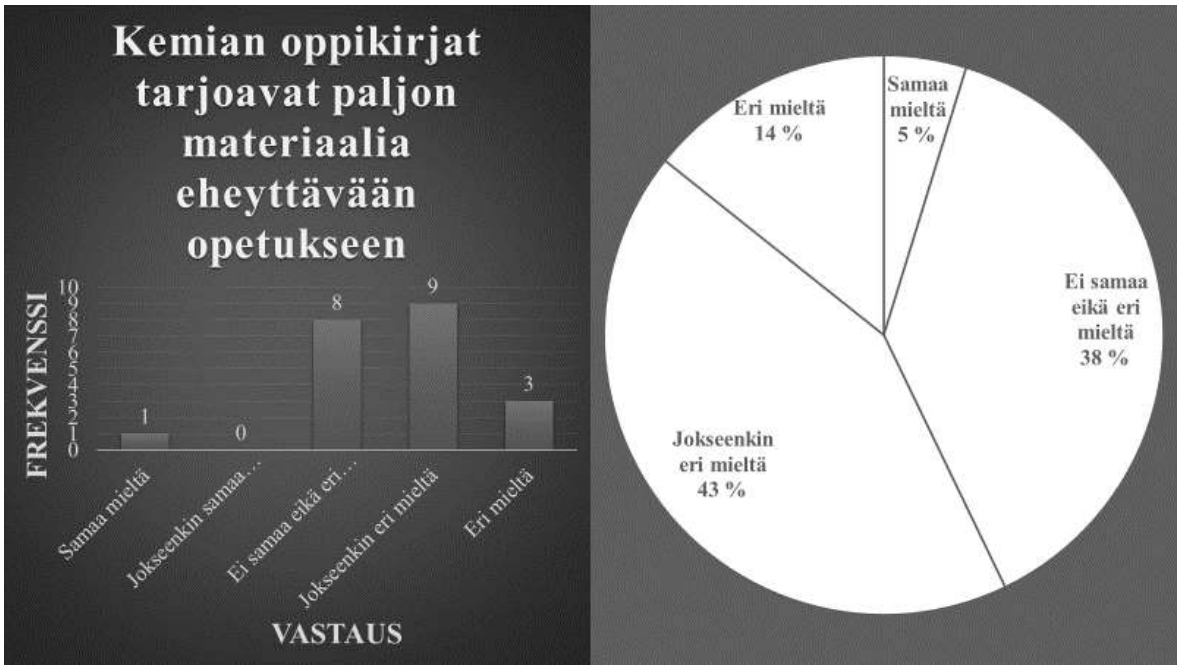
Liitekuva 9: Frekvenssijakauma 3



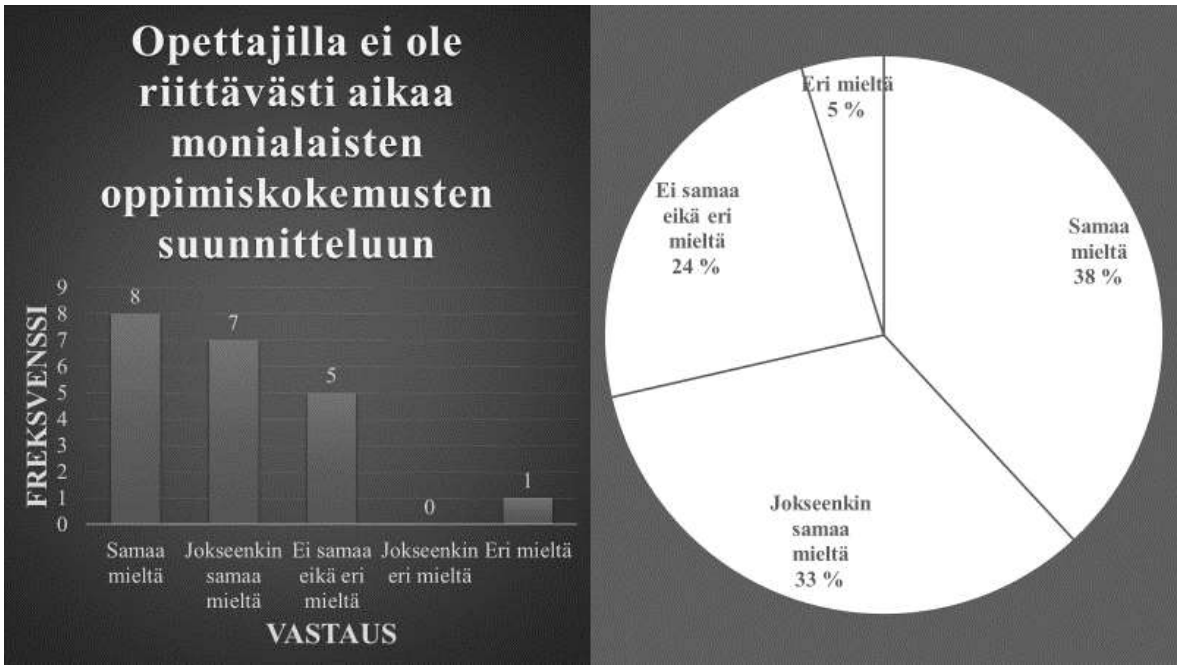
Liitekuva 10: Frekvenssijakauma 4



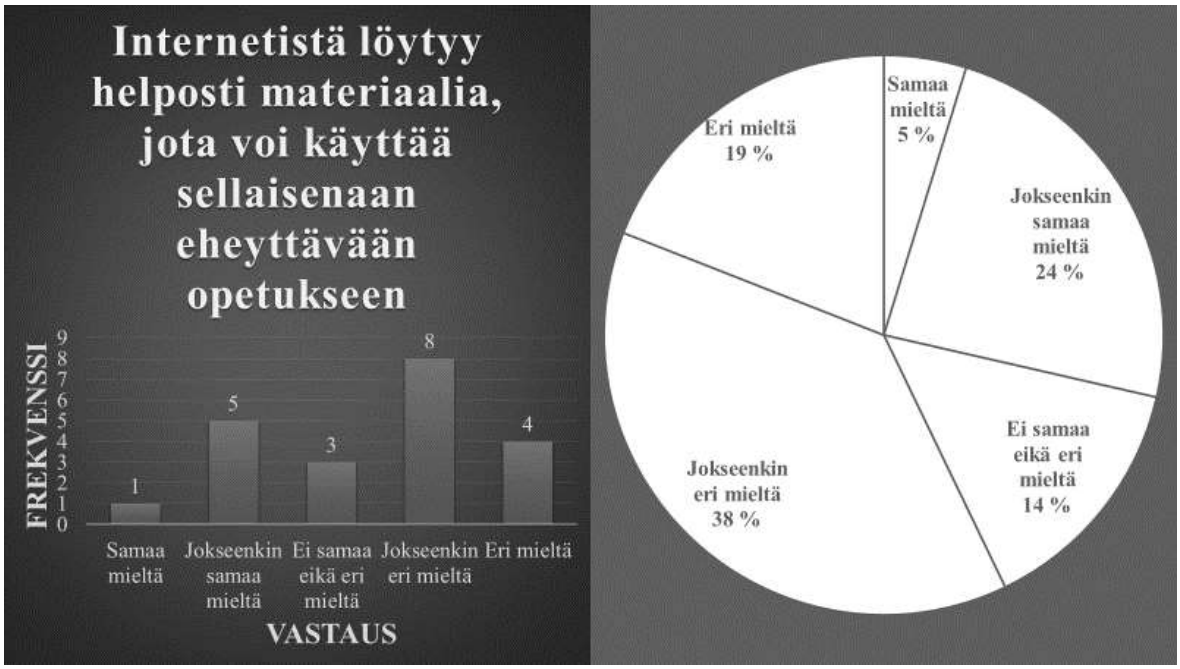
Liitekuva 11: Frekvenssijakauma 5



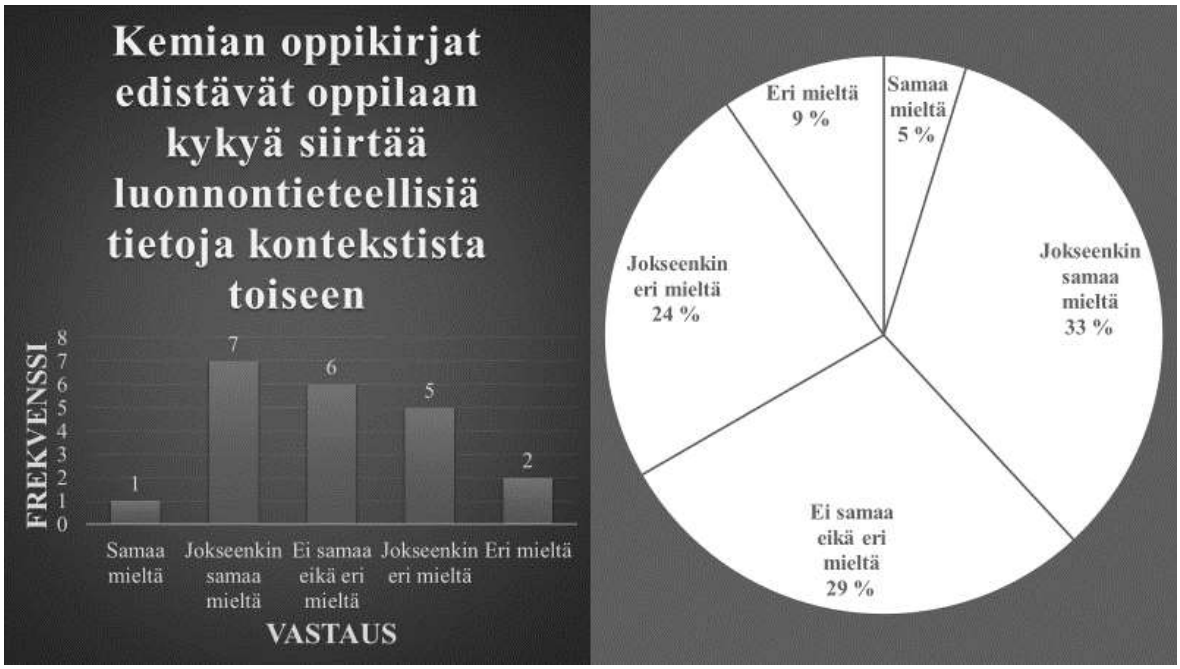
Liitekuva 12: Frekvenssijakauma 6



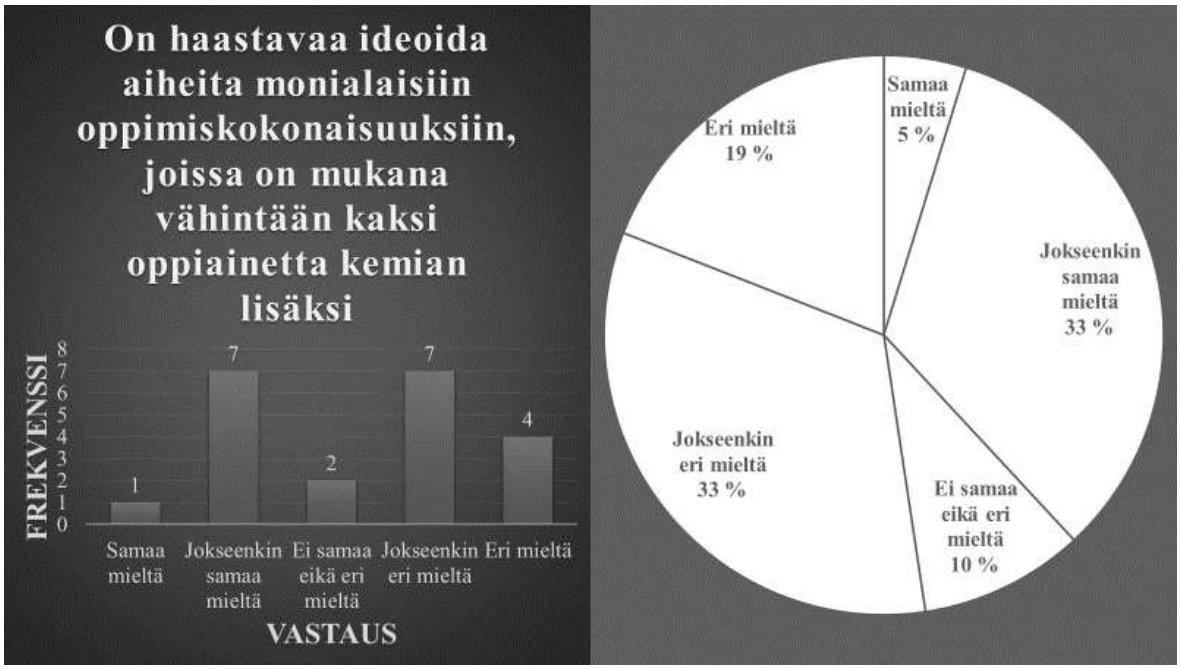
Liitekuva 13: Frekvenssijakauma 7



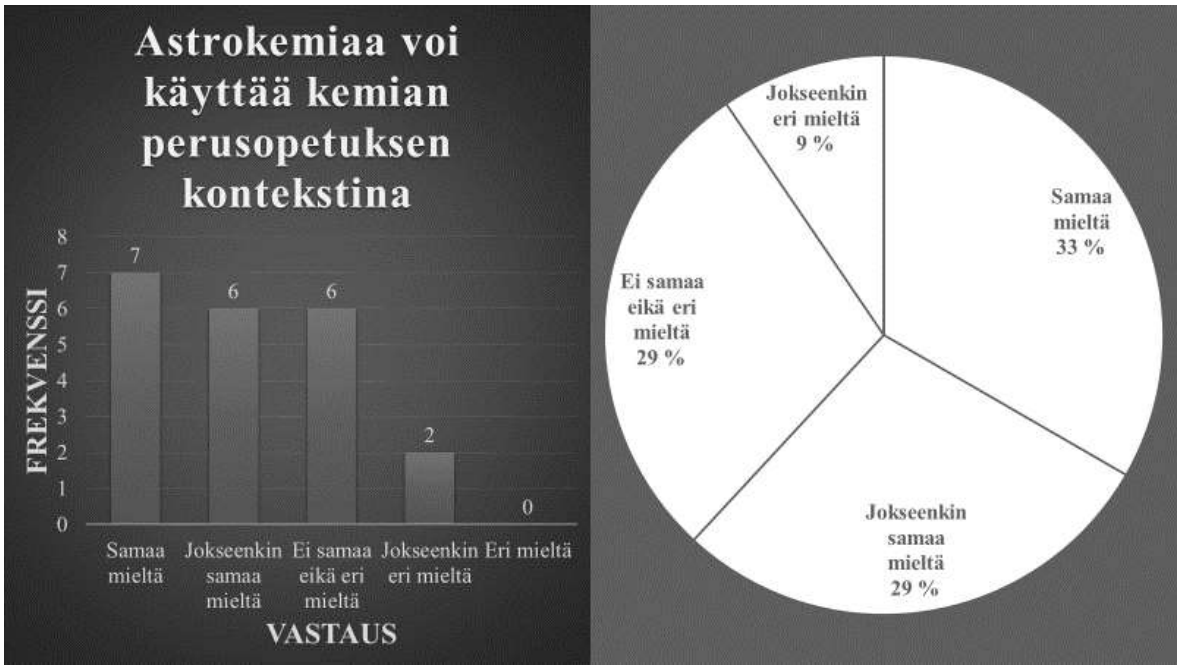
Liitekuva 14: Frekvenssijakauma 8



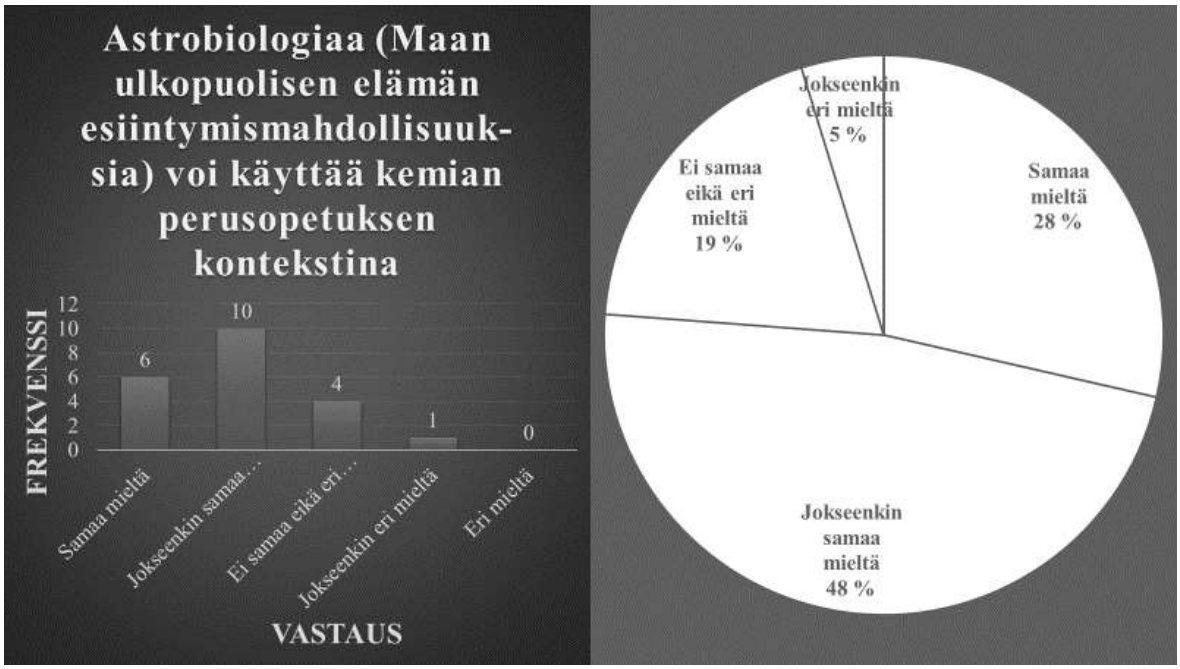
Liitekuva 15: Frekvenssijakauma 9



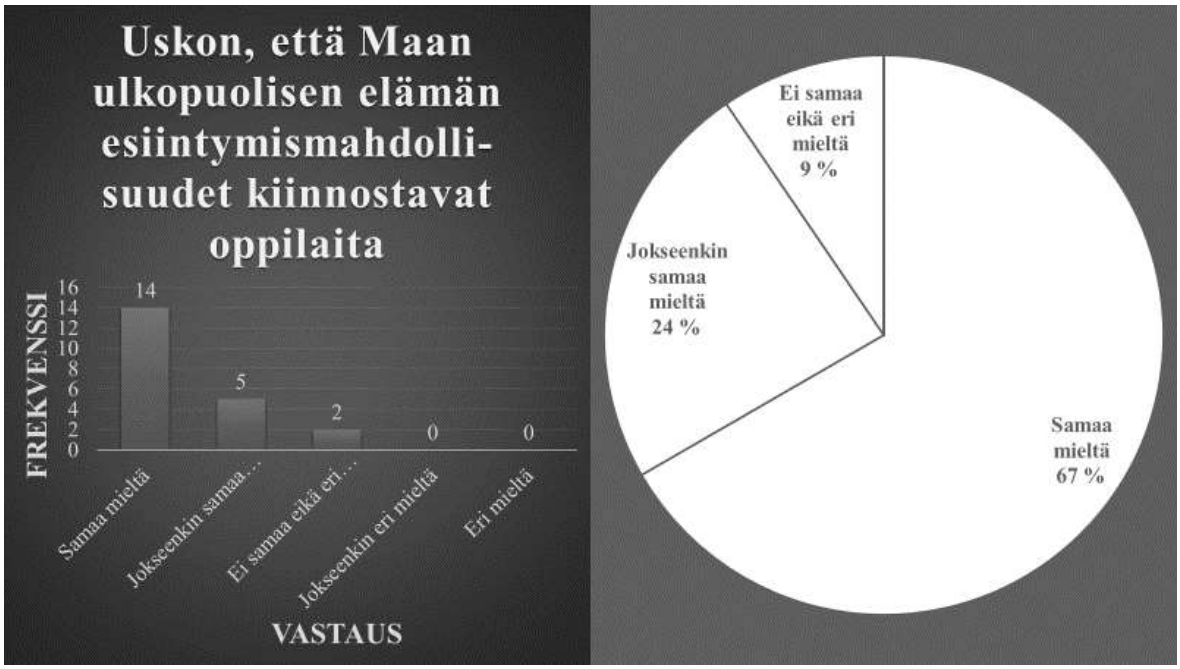
Liitekuva 16: Frekvenssijakauma 10



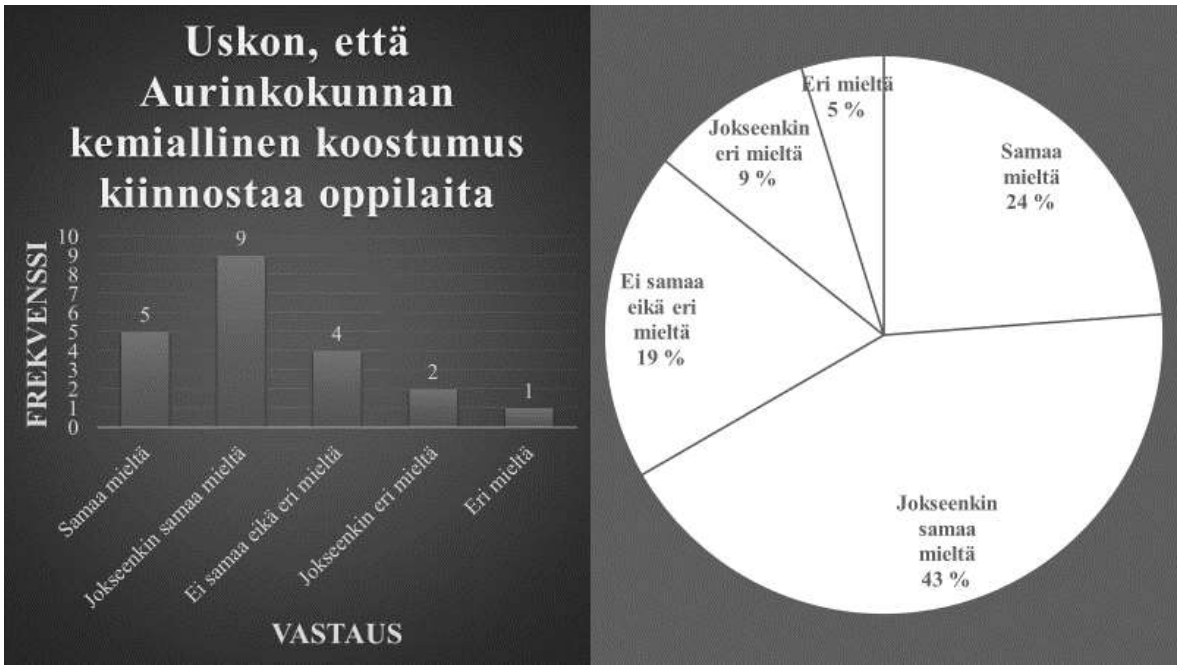
Liitekuva 17: Frekvenssijakauma 11



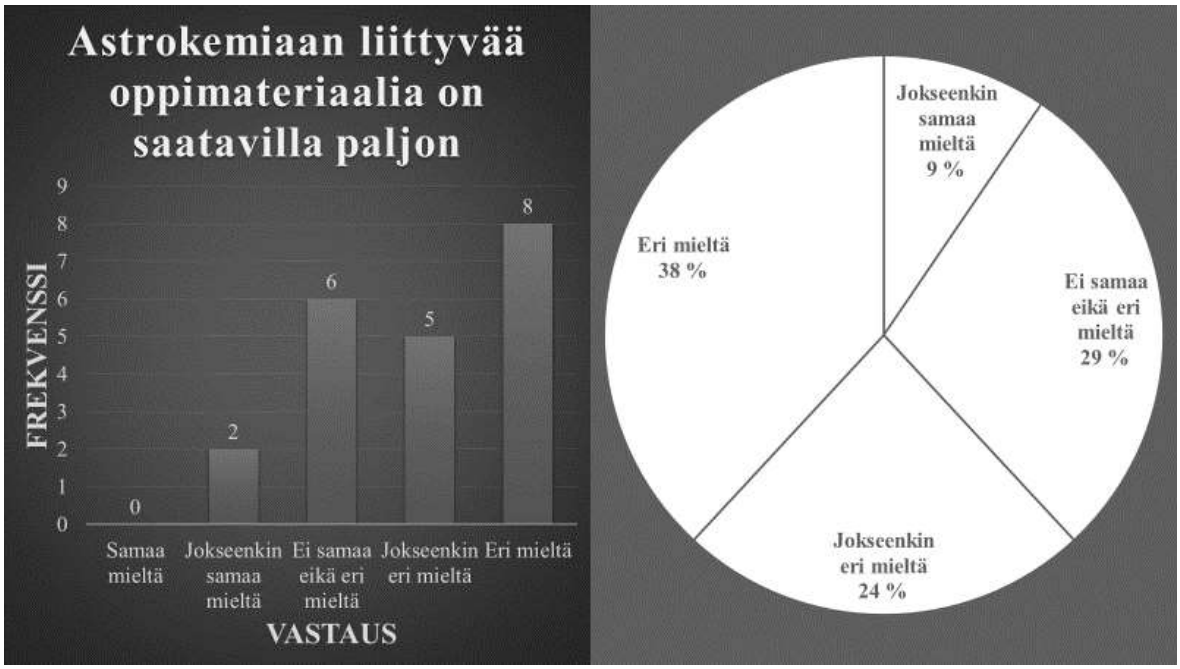
Liitekuva 18: Frekvenssijakauma 12



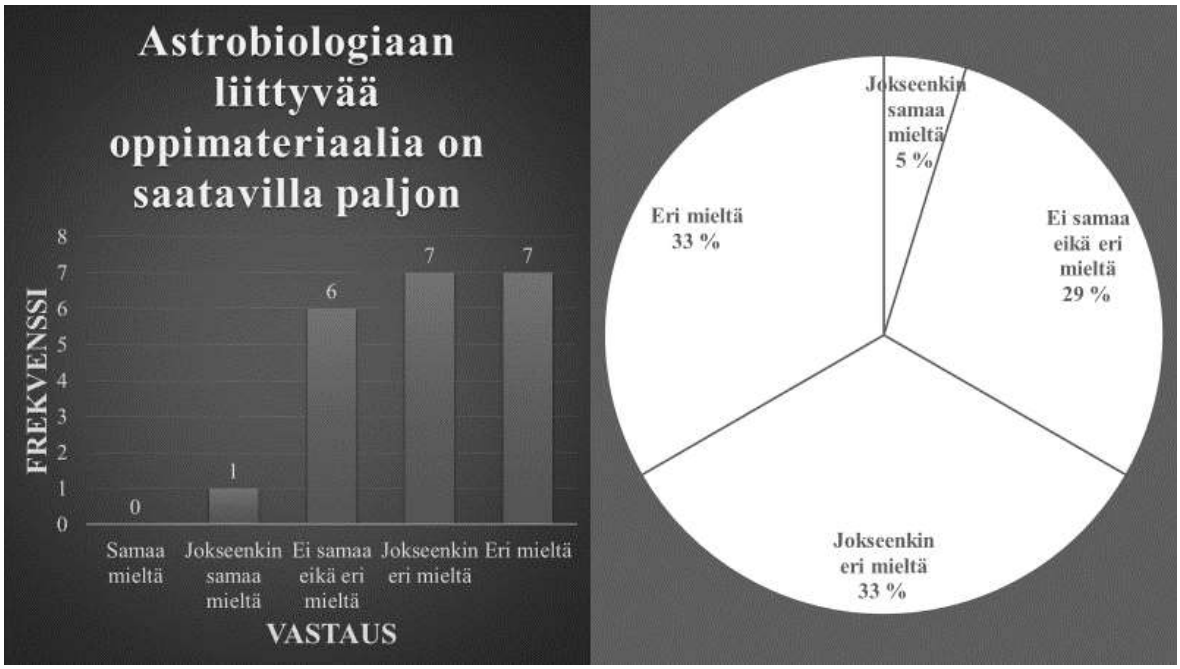
Liitekuva 19: Frekvenssijakauma 13



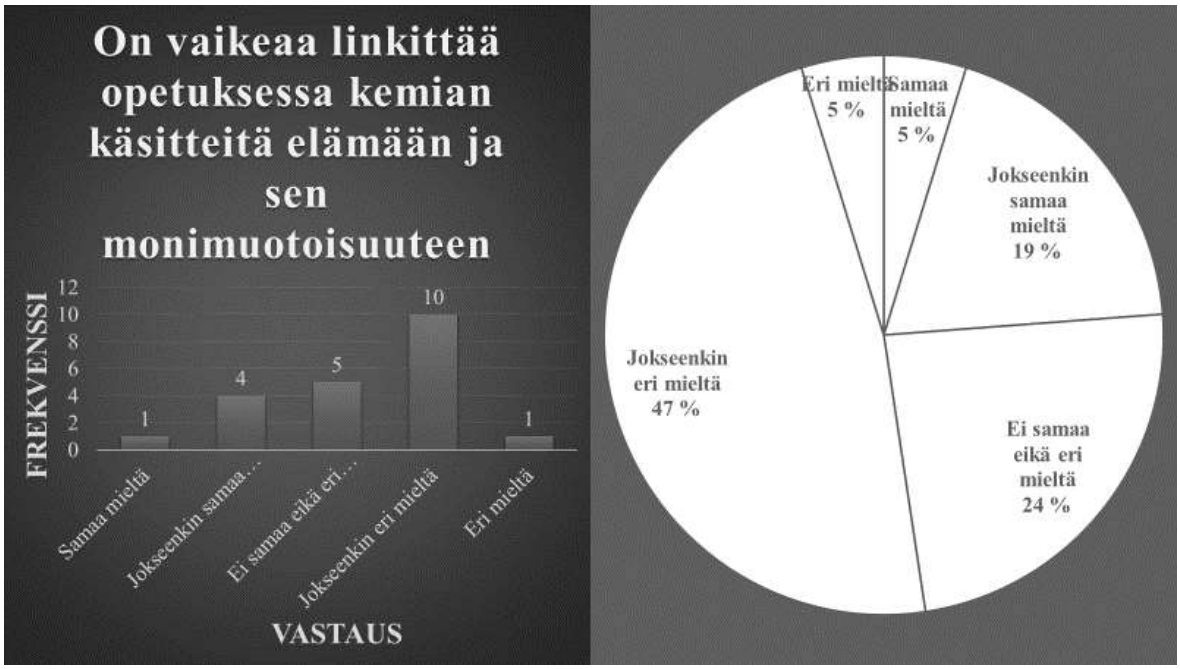
Liitekuva 20: Frekvenssijakauma 14



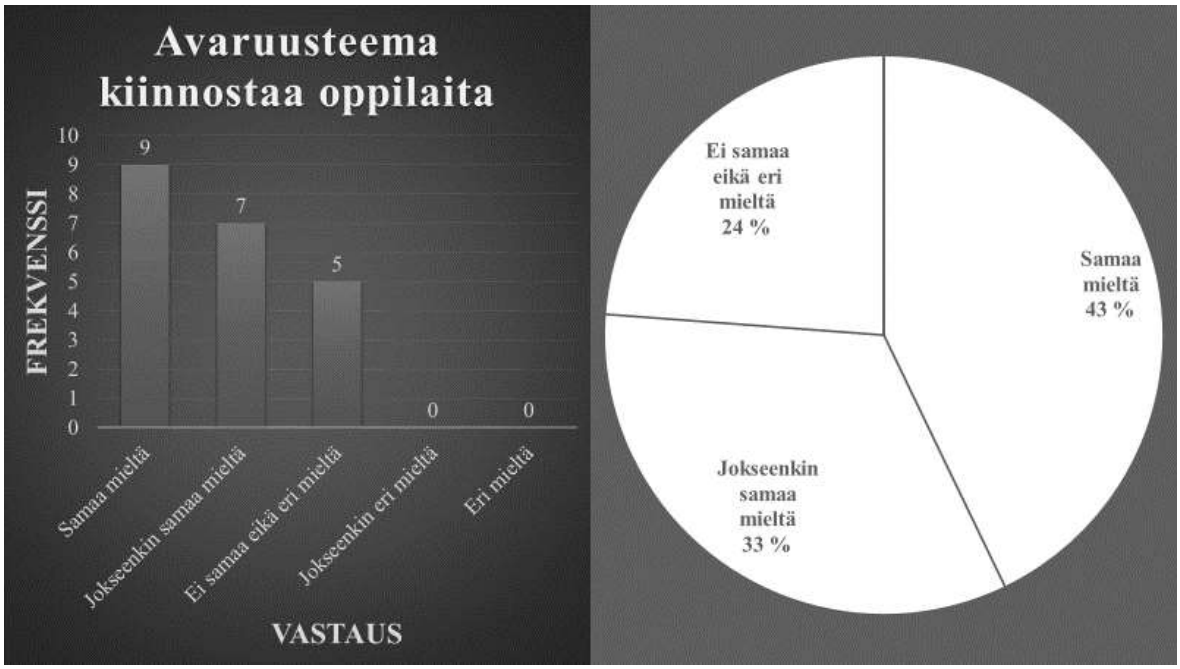
Liitekuva 21: Frekvenssijakauma 15



Liitekuva 22: Frekvenssijakauma 16



Liitekuva 23: Frekvenssijakauma 17



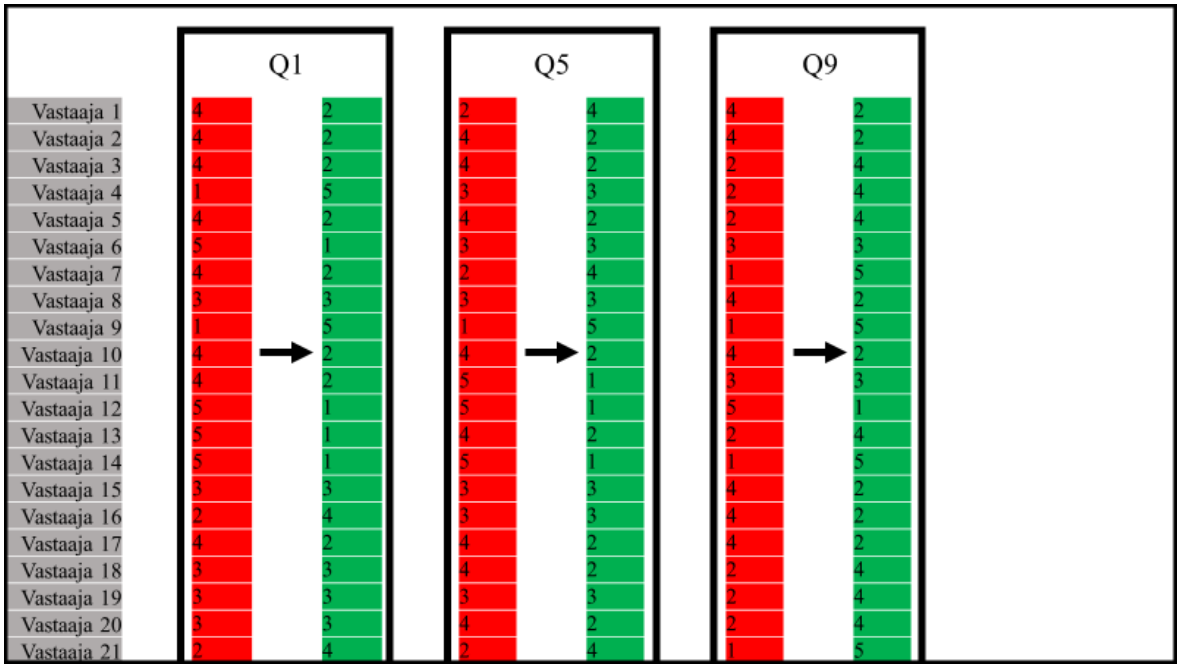
Liitekuva 24: Frekvenssijakauma 18

Liite 3. Cronbachin alfa-kertoimen laskeminen empiirisen ongelma-analyysin I kyselyn tuloksista

Cronbachin alfa-kertoimen laskemisessa käytettiin vastauksia lomakekenttiin:

- **Q1**: Työtapaohjeita eheyttävään opetukseen on saatavilla huonosti
- **Q2**: On helppoa ideoida aiheita monialaisiin oppimiskokemuksiin
- **Q3**: On helppoa ideoida työtapoja monialaisiin oppimiskokemuksiin
- **Q4**: Internetistä löytyy helposti materiaalia, jota voi soveltaa eheyttävään opetukseen
- **Q5**: Oppikirjoissa kemian tiedot kontekstualisoidaan yksipuolisesti
- **Q6**: Oppikirjat tarjoavat paljon materiaalia eheyttävään opetukseen
- **Q7**: Internetistä löytyy helposti materiaalia, jota voi käyttää sellaisenaan eheyttävään opetukseen
- **Q8**: Oppikirjat edistävät oppilaan kykyä siirtää luonnontieteellisiä tietoja kontekstista toiseen
- **Q9**: On haastavaa ideoida aiheita monialaisiin oppiskokonaisuuksiin, joissa mukana on vähintään kaksi oppiainetta kemian lisäksi

Käänteisesti muotoiltujen lomakekenttien pisteytys käännettiin:



	Q1		Q5		Q9	
Vastaaja 1	4	2	2	4	4	2
Vastaaja 2	4	2	4	2	4	2
Vastaaja 3	4	2	4	2	2	4
Vastaaja 4	1	5	3	3	2	4
Vastaaja 5	4	2	4	2	2	4
Vastaaja 6	5	1	3	3	3	3
Vastaaja 7	4	2	2	4	1	5
Vastaaja 8	3	3	3	3	4	2
Vastaaja 9	1	5	1	5	1	5
Vastaaja 10	4	2	4	2	4	2
Vastaaja 11	4	2	5	1	3	3
Vastaaja 12	5	1	5	1	5	1
Vastaaja 13	5	1	4	2	2	4
Vastaaja 14	5	1	5	1	1	5
Vastaaja 15	3	3	3	3	4	2
Vastaaja 16	2	4	3	3	4	2
Vastaaja 17	4	2	4	2	4	2
Vastaaja 18	3	3	4	2	2	4
Vastaaja 19	3	3	3	3	2	4
Vastaaja 20	3	3	4	2	2	4
Vastaaja 21	2	4	2	4	1	5

Liitekuva 25: Pisteytyksen kääntäminen

Cronbachin alfa-kerroin laskettiin Microsoft Excelillä:

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	X (vaakarivin summa)		
Vastaaja 1	2	2	2	2	4	3	3	4	2	24		
Vastaaja 2	2	3	3	4	2	3	4	4	2	27		
Vastaaja 3	2	3	4	3	2	3	3	3	4	27		
Vastaaja 4	5	4	2	2	3	2	2	2	4	26	K	9
Vastaaja 5	2	5	2	2	2	2	1	2	4	22	$\sum_{i=1}^{K} \sigma^2 Y_i$	11,9864
Vastaaja 6	1	2	5	1	3	1	1	4	3	21	$\sigma^2 X$	53,2925
Vastaaja 7	2	5	4	3	4	1	4	4	5	32	Cronbachin alfa $\alpha = \frac{K}{K-1}\left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{K} \sigma^2 Y_i}{\sigma^2 X}\right)$	0,87197
Vastaaja 8	3	3	3	2	3	2	2	3	2	23		
Vastaaja 9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	45		
Vastaaja 10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18		
Vastaaja 11	2	2	2	2	1	1	2	1	3	16		
Vastaaja 12	1	1	1	1	1	2	1	3	1	12		
Vastaaja 13	1	4	4	5	2	2	2	3	4	27		
Vastaaja 14	1	4	4	2	1	2	2	1	5	22		
Vastaaja 15	3	4	4	3	3	3	3	4	2	29		
Vastaaja 16	4	2	2	2	3	2	1	3	2	21		
Vastaaja 17	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18		
Vastaaja 18	3	2	4	5	2	3	4	4	4	31		
Vastaaja 19	3	4	4	4	3	3	4	4	4	33		
Vastaaja 20	3	4	2	3	2	3	2	3	4	26		
Vastaaja 21	4	5	5	5	4	3	4	2	5	37		
$\sigma^2 Y_i$ (pystyrivin varianssi)	1,39229	1,51474	1,45578	1,64626	1,10204	0,80726	1,38776	1,14286	1,53741			

Liitekuva 26: Cronbachin alfa-kertoimen laskeminen