

Suomen ainedidaktisen tutkimusseuran julkaisuja

Ainedidaktisia tutkimuksia

27

# **Biologian opetus ja tiedekasvatus kestävän tulevaisuuden edistäjinä**

Anna Uitto, Eila Jeronen ja Eija Yli-Panula (toim.)

Suomen ainedidaktisen tutkimusseuran julkaisuja

Ainedidaktisia tutkimuksia 27

# Biologian opetus ja tiedekasvatus kestävän tulevaisuuden edistäjinä

Anna Uitto, Eila Jeronen ja  
Eija Yli-Panula (toim.)

Suomen ainedidaktinen  
tutkimusseura ry



**Puheenjohtaja:**

Professori Eila Lindfors  
Opettajankoulutuslaitos  
Turun yliopisto

---

Suomen ainedidaktisen tutkimusseuran julkaisuja  
Ainedidaktisia tutkimuksia 27

**Toimittajat:**

Anna Uitto, Eila Jeronen ja Eija Yli-Panula

**Julkaisija:**

Suomen ainedidaktinen tutkimusseura ry

**Julkaisutoimikunta:**

Tomi Kärki (puheenjohtaja), Emilia Luukka (sihteeri),  
Pilvi Heinonen, Manne Kallio, Henry Leppäaho,  
Eila Lindfors, Terhi Mäntylä ja Eija Yli-Panula

**Taitto:**

Unigrafia

**Kannen kuva:**

Anna Uitto

ISBN 978-952-5993-44-8 (painettu)  
ISBN 978-952-5993-43-1 (verkkojulkaisu)  
ISSN-L 1799-9596  
ISSN 1799-9596 (painettu)  
ISSN 1799-960X (verkkojulkaisu)

Helsinki 2024



# SISÄLLYSLUETTELO

Esipuhe.....	4
<b>OSA 1. Biologian luonne tieteenalana ja muuttuva biologian opetus .....</b>	<b>8</b>
Luku 1. Biologia tieteenä ja oppiaineena .....	8
<i>Tuomas Aivelo</i>	
Luku 2. Luonnontiedekasvatus ja kestävän kehityksen kasvatus biologian opetuksessa .....	30
<i>Anna Uitto, Eila Jeronen ja Eija Yli-Panula</i>	
Luku 3. Näkökulmia kestävyttä korostavan biologian opetukseen ja arviointiin.....	80
<i>Anna Uitto, Eija Yli-Panula, Eila Jeronen</i>	
<b>OSA 2: Uudet näkökulmat Biologian käsitteiden ja teemojen opetukseen.....</b>	<b>97</b>
Luku 4. Biologian ilmiöiden ymmärtäminen.....	97
<i>Ilona Södervik</i>	
Luku 5. Kestävyysnäkökulma biologian käsitteiden opetuksessa.....	132
<i>Ilona Södervik ja Antti Laherto</i>	
Luku 6. Herkät ja kiistanalaiset teemat biologian opetuksessa.....	143
<i>Tuomas Aivelo</i>	
<b>OSA 3. Tutkimuksellisuus ja kokemuksellisuus biologian opetusmenetelmissä .....</b>	<b>172</b>
Luku 7. Ongelmanratkaisutaitojen kehittäminen biologian opetuksessa.....	172
<i>Merike Kesler, Sari Havu-Nuutinen, Sirpa Kärkkäinen</i>	
Luku 8. Biologiaa luokkahuoneen ulkopuolella .....	202
<i>Arja Kaasinen ja Anttoni Kervinen</i>	
Lähteet .....	233
Kirjoittajat.....	310

## ESIPUHE

ANNA UITTO

Luonto rakentuu fysikaalis-kemiallisista ja biologisista elementeistä. Me ihmiset olemme kehittyneet osaksi tätä kokonaisuutta ja biosfääriin runsautta. Olemme myös rakentaneet luonnonvarojen hyödyntämiseen perustuvia järjestelmiä ja infrastruktuureja, jotka ovat mahdollistaneet inhimillisen kehityksen ja kukoistuksen sekä aineellisen hyvinvoinnin – osalle ihmiskuntaa. Ihmisten rakentamien järjestelmien toiminta edellyttää kuitenkin laajamittaista luonnonvarojen hyödyntämistä, mikä on muuttanut perusteellisesti vesistöjen, ilmakehän, maaperän ja ekosysteemien rakennetta ja toimintaa, ja vaikuttaa takaisinkytkentöinä myös rakennettuun ympäristöön, yhteiskuntiin ja ihmisten hyvinvointiin. Ympäristömuutosten ja niiden monien vaikutusten ohella yhteiskuntia vaivaavat kehittymismahdollisuuksien epätasainen jakautuminen, tasa-arvoon ja yhdenvertaisuuteen liittyvät haasteet sekä konflikteihin liittyvät uhkatekijät, jotka kietoutuvat yhteen ekologista, sosiaalista ja taloudellista kestävyyttä rajoittaviksi tekijöiksi.

Viheliäisten ongelmien kierteeseen pyritään vaikuttamaan siirtymällä kestävään kehitykseen sekä paikallisilla että globaalilla tasolla. Kestävän kehityksen välttämättömyys onkin tunnustettu laajasti ja Yhdistyneiden kansakuntien jäsenmaat ovat sitoutuneet kestäväan kehityksen tavoitteisiin (UN, 2015). Muutosprosessia kohti ekologisesti kestävää yhteiskuntaa edistetään erityisesti lainsäädännön, talouden ja rahoituksen, yksilöllinen ja yhteisöllisen toiminnan sekä tieteen ja teknologian avulla. Kyky toimia kestävyuden edistämiseksi katsotaan olevan kestävyysmurroksen edellytys, korostaen kasvatuksen ja koulutuksen merkitystä (Kestävyyspaneeli, 2020; UN, 2019).

Maailman ilmiöiden moniulotteisuus haastaa myös kouluopetuksen ja opetuksen tutkimuksen ottamaan kantaa sekä vastaamaan muutoksista johtuviin kysymyksiin. Oleellinen kysymys on kouluopetuksen suhde koulun ulkopuoliseen todellisuuteen. Ratkaisumallien etsiminen monitahoisiin ongelmiin on haaste sekä kestävyyskasvatukselle ja -opetukselle että eri oppiaineille, kuten biologialle.

Luonnontieteiden opetuksen tavoitteena on oppijoiden luonnontieteellisen sivistyksen edistäminen. Luonnontieteellinen sivistys tarkoittaa, että oppija hallitsee luonnontieteiden perusteita, luotettavan tiedon ja sen tuottamisen kriteerejä ja hänellä on kykyä käyttää ja soveltaa tietoaan ja taitojaan monenlaisissa tilanteissa. Yleissivistävään koulutukseen kuuluu myös tavoitteita, joissa on otettu huomioon 21. vuosisadan kompetenssien eli tulevaisuustaitojen näkökulma. Kompetensseilla tarkoitetaan ajattelun, työskentelyn ja välineiden käytön taitoja sekä elämisen ja osallistumisen taitoja (Binkley ym., 2012). Opetussuunnitelmallisesti laaja-alaisen osaamisen ulottuvuudet määrittelevät tulevaisuustaidot (Vainikainen & Nilivaara, 2022) ja kestävyys on niissä yksi ulottuvuus. Kansainväliset kestävyyskasvatuksen osaamiskehykset (GreenComp, Bianchi ym., 2022 ja United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization [UNESCO], 2017) korostavat kognitiivisten kompetenssien lisäksi myös affektiivisia ja toiminnallisia kompetensseja kestävyuden edistämiseksi. Ainedidaktinen tutkimus on tärkeää pohdittaessa, miten kokonaisuuksia rakennetaan kunkin oppiaineen erityispiirteet huomioon ottaen. Ainedidaktiikan erityiskysymyksistä mielekkäisiin kestävästä kehitystä käsitteleviin kokonaisuuksiin kasvavaa tutkimusta on kuitenkin vähän.

Biologian ainedidaktinen tutkimus on osa luonnontiedekasvatuksen tutkimusta. Nykyisen luonnontiedekasvatuksen ja -opetuksen tavoitteena on määritellä opetus sen mukaan, miten se ottaa laajenevasti huomioon oppiaineen merkityksen ja soveltamismahdollisuudet suhteessa koulun ulkopuolisiin, todellisen maailman ilmiöihin (Roberts, 2011; Roberts & Bybee, 2014). Luonnontiedekasvatukselle on määritelty uusia tavoitteita ja niiden saavuttamiseksi vastaavasti erilaisia visioita, jotka määrittelevät opetuksen tavoitteet (esim. Sjöström ym., 2017). Tämän teoksen tarkoituksena on määritellä ja tarkastella biologian didaktiikkaa ja sen tutkimusta luonnontiedekasvatuksen kolmen eri vision kautta (esim. Roberts, 2007, 2011; Sadler & Zeidler, 2005; Sjöström ym., 2017) ja luoda yhteyksiä visioiden välille biologian opetuksen näkökulmasta. *Visio 1* tarkoittaa luonnontieteellistä lukutaitoa eli luonnontieteellistä käsitteellistä osaamista, joka on tarpeen taitojen kehittymistä, henkilökohtaista kasvua ja jatkokoulutusta varten. *Visiossa 2* korostuu kontekstuaalisuus ja luonnontieteellisen osaamisen käytettävyys arkipäivän toiminnassa ja yhteiskunnalliseen toimintaan osallistumisessa. *Vision 3* tavoitteena on luonnontieteellisen osaamisen ylittävä toimintakompetenssi kestävyysmuutoksen edistämiseksi sekä oppijan että yhteiskunnan tasolla (Sjöström ym., 2017; Sjöström & Eilks, 2018; 2020).

---

Tämä biologian didaktiikan, tiedekasvatuksen ja kestävyyskasvatuksen välisiä suhteita käsittelevä käsikirja on tarkoitettu alan tutkijoille, opettajankouluttajille, opettajaopiskelijoille, opettajille ja muille aiheesta kiinnostuneille. Teos rakentuu kolmesta eri pääteemasta. Ensimmäinen pääteema (OSA 1) käsittelee bio- ja ympäristötieteiden tieteenalaa sekä muuttuvaa biologian opetusta. Luvussa 1 Tuomas Aivelo pohtii biologiaa tieteenalana ja oppiaineena. Lähtökohtana on biologian ja luonnontieteiden filosofia ja biologinen tutkimus osana luonnontieteiden kenttää. Luvussa 2 Anna Uitto, Eila Jeronen ja Eija Yli-Panula käsittelevät biologian opetusta osana luonnontiede- ja kestävyyskasvatusta. Lähtökohtana ovat luonnontiedekasvatuksen eri visiot. Luvussa 3 Anna Uitto, Eija Yli-Panula ja Eila Jeronen tarkastelevat kriittisesti biologian opetuksen suunnittelua, toteutusta ja arviointia suhteessa tiedekasvatuksen ja kestävyyskasvatuksen tavoitteisiin opetussuunnitelmissa. Lisäksi he pohtivat affektiivisten tavoitteiden merkitystä arvioinnissa sekä arvioinnin eettisyyttä.

Toisen pääteeman (OSA 2) aiheena ovat uudet lähestymistavat, joita voidaan käyttää biologian käsitteiden opetuksessa. Luvussa 4 Ilona Södervik tarkastelee käsitteiden merkitystä biologian ilmiöiden ymmärtämisessä. Keskeinen teema on käsitteellisen muutoksen rooli opetuksessa, kun biologisia ilmiöitä hahmotetaan arkikäsitysten sijasta tieteellisten käsitteiden ja ymmärryksen avulla. Luvussa 5 Ilona Södervik ja Antti Laherto tarkastelevat kestävyysnäkökulmaa biologian käsitteiden opetuksessa ja kestävää kehitystä kuvaavaa käsitteistöä kriittisesti. Luvussa 6 Tuomas Aivelo käsittelee herkkiä ja kiistanalaisia teemoja biologian opetuksessa. Maailmankatsomus, biologinen determinismi, eläinten oikeudet sekä sukupuoli ja seksuaalisuus biologian opetuksessa kuuluvat myös Aivelon aiheisiin.

Teoksen kolmas pääteema (OSA 3) käsittelee tutkimuksellisuutta ja kokemuksellisuutta biologian opetuksessa, erityisesti opetusmenetelmien ja -ympäristöjen osalta. Luvussa 7 Merike Kesler, Sari Havu-Nuutinen ja Sirpa Kärkkäinen käsittelevät ongelmanratkaisutaitojen kehittämistä biologian opetuksessa. He tarkastelevat aihetta laaja-alaisen osaamisen näkökulmasta ja kiinnittävät huomiota myös luovaan ongelmanratkaisuun. Luvussa 8 Arja Kaasinen ja Anttoni Kervinen käsittelevät biologian opetusta luokkahuoneen ulkopuolisissa oppimisympäristöissä. Kirjoittajat tarkastelevat maasto-opetuksen merkitystä biologian oppimisessa, biodiversiteettikasvatusta sekä opetussuunnitelmallisia opetuksen haasteita ja ratkaisuja.

Toivomme lukijoille kiinnostavia lukuhetkiä teoksemme parissa! Toivomme myös, että teos herättää uusia ideoita aihedidaktisen tutkimukseen ja oppiaineiden opetukseen.



# OSA 1. BIOLOGIAN LUONNE TIETEENALANA JA MUUTTAVA BIOLOGIAN OPETUS

## Luku 1. Biologia tieteenä ja oppiaineena

TUOMAS AIVELO

Biologia on tieteenala, joka tutkii elämää. Se on siten tieteenalana laaja kat-  
taen erilaisia tarkastelutasoja biomolekyyleistä aina koko planeetan laajui-  
siin ilmiöihin. Samaten biologian tarkastelemat aikaskaalat ovat miljardista  
vuosista sekunnin murto-osissa tapahtuviin ilmiöihin. Oppiaineena biologi-  
an tavoitteita määrittävät opetussuunnitelmat, joissa otetaan huomioon sekä  
biologian erityispiirteet että niiden linkittyminen yleissivistävän koulutuksen  
laajempiin tavoitteisiin. Opetussuunnitelmissa biologia näyttäytyy oppiaine-  
na, joka valottaa paitsi biologian tieteenalan sisältöjä ja menetelmiä, myös op-  
pijoiden suhdetta omaan itseensä, ympäristöönsä ja yhteiskuntaan. Luvussa 1  
tarkastellaan biologiaa tieteenalana sekä sen erityispiirteitä suhteessa muihin  
luonnontieteisiin.

### 1.1 Biologian tieteenalaa määrittää elämä tutkimuskohteena

Biologiassa tutkitaan elämää (esim. Urry ym., 2019). Elämää määrittää jat-  
kuvuus ja yhtenäisyys, sillä eliöt pienimmästä bakteerista suurimpaan sie-  
nirihmastoon ovat sukua toisilleen ja polveutuvat yhteisestä kantamuodosta  
miljardien vuosien takaa. Elämäksi voidaankin määritellä tämä joukko noin  
neljä miljardia vuotta sitten eläneestä ja yhteisestä kantamuodosta polveutu-  
neita eliöitä. Sukulaisuuden ansiosta nykyinen *biodiversiteetti* (luonnon mo-  
nimuotoisuus, elonkirjo, luonnonkirjo) (Urry ym., 2019) perustuu samoihin  
aineenvaihdunnan perusilmiöihin, samaan periytyvään ainekseen ja saman-  
laisiin biomolekyyleihin eri eliölajeissa. Toisaalta biologiassa tutkitaan niin  
yksittäisen eliön molekyyllitason rakennetta kuin miljardien yksilöiden ja  
tuhansien eliölajien muodostamia *eloyhteisöjä* eli biomeja. Tämän takia bio-  
logian tutkimusala rajautuu tarkasti, mutta elämän monimuotoisuuden takia

erilaisten tutkimuksen lähestymistapojen ja menetelmien kirjo on laaja. Eliökunnan ulkopuolelle luetaan kuuluvaksi useita joukkoja monistuvia biologisia järjestelmiä, joiden elävyydestä käydään keskustelua. Esimerkiksi viruksilla ei ole omaa solurakennetta tai aineenvaihduntaa, mutta ne pystyvät kopioimaan isäntäsolun avulla oman perintöaineksensa ja niillä tapahtuu sopeutuvaa evoluutiota. Virusten alkuperästä ei ole selkeää käsitystä, ja ne todennäköisesti ovat eliökunnan ulkopuolella useaan kertaan itsenäisesti syntyneitä (Dimmock ym., 2007). Virusten lisäksi on olemassa muun muassa viroideja, paljaita RNA-partikkeleita ja prioneja, paljaita proteiineja, jotka voivat lisääntyä kopioimalla perimäainestansa.

Eläviä eliöitä yhdistää joukko piirteitä: 1) *homeostaasi* eli sisäisen ympäristön säätely ja tasapaino, 2) *ulkoisiin ärsykkeisiin reagoiminen*, esimerkiksi liikuminen ravintoa kohden, 3) *solurakenne*, 4) *elämänkaari ja lisääntyminen* eli syntyminen ja kuolema sekä uusien yksilöiden tuotanto, 5) *aineenvaihdunta ja kasvu* eli ravinnosta saatavan energian käyttäminen eliön rakenteiksi tai näiden rakenteiden ylläpitoon, 6) *perinnöllinen materiaali* eli jälkeläiset muistuttavat vanhempiaan, koska niiltä periytyy perinnöllistä materiaalia kuten DNA:a (deoksiribonukleiinihappoa) tai RNA:a (ribonukleiinihappoa) ja 7) *sopeutuminen ja sitä seuraava evoluutio*, kun perinnöllisessä materiaalissa tapahtuu muutosta ajan mittaan ja parhaiten ympäristöön sopeutuneet muodot yleistyvät. Edellä mainitut piirteet yhdistävät kaikkia eliölajeja, vaikka ne muuten eroaisivat toisistaan paljon. Samalla nämä piirteet rajaavat biologian tutkimuskenttää.

## 1.2 Biologian tutkimusalue voidaan jakaa eri tavoin

Biologian tieteenalaa on jaoteltu historian saatossa monin eri tavoin. Tämän takia biologiassa tieteenä on erilaisia päällekkäisiä tai risteäviä aloja, kuten tiettyjen biologisten ilmiöiden tutkimus tai tiettyjen eliöryhmien tutkimus (esimerkiksi sienitieteessä eli mykologiassa tutkitaan sieniä, virusopissa eli virologiassa viruksia ja mikrobiologiassa kaikkia mikroskooppisia eliöitä).

Jo antiikin aikana biologia jaettiin tutkittavien eliöryhmien mukaan. Kasvioppi ja eläinoppi olivat pitkään käytetyin biologian tieteenalojen jako. Vielä 1900-luvulle saakka biologiassa oli oleellista tutkia eliöiden rakenteita ja kuvata niitä luonnonmukaisin tarkoin piirroksin. Perinteisesti biologiassa on

tutkittu eliöiden *rakenteita* (anatomia) ja *toimintaa* (fysiologia). Nykyäänkin monet tutkijat erikoistuvat tiettyihin eliöryhmiin: esimerkiksi Helsingissä järjestettiin vuonna 2019 oravatutkijoiden konferenssi. Vaikka tämä jako on vanhaa perua, se on hyödyllinen; koska eri nisäkäslajit ovat toisilleen läheistä sukua, ne ovat todennäköisesti myös muiden piirteidensä suhteen samankaltaisempia verrattuna muihin selkäjänteisten eliöryhmiin. Tällöin tutkimuksessa käytettävät menetelmät ovat todennäköisesti myös sovellettavissa eliölajista toiseen.

Biologian oppikirjoissa käsitteet ja käsittekokonaisuudet on yleensä järjestetty *toiminnallisille kokonaisuuksille* eli organisaatiotasolle. Organisaatiotasojen käsitteellisessä mallissa kokonaisuudet muodostuvat sisäkkäisesti pienimmästä suurimpaan molekyyalitasolta aina ekosysteemeihin ja elonkehään eli biosfääriin saakka. Esimerkiksi ekosysteemi on eliöyhteisön ja sen elottoman ympäristön muodostama toiminnallinen kokonaisuus ja populaatio on joukko samaan eliölajiin kuuluvia yksilöitä, jotka elävät samalla alueella ja voivat lisääntyä keskenään. Organisaatiotasojen tutkimukselle on tyypillistä, että niitä tutkittaessa täytyy käyttää erilaisia tutkimusmenetelmiä ja -välineitä. Taulukossa 1.1a, b kuvaillaan biologian tieteenaloja ja esimerkkejä tutkimuskohteista eliöryhmien, organisaatiotasojen, biologian ilmiöiden, tutkimusvälineiden käytön sekä ja soveltavien alojen perusteella.

Ekologiassa tutkimuskohteena ovat eliöiden ja elottoman luonnon väliset moninaiset vuorovaikutussuhteet. Fokus ei ole niinkään yksilöissä vaan populaatioissa, eliöyhteisössä tai ekosysteemissä. Ekologiassa tutkitaan ennen kaikkea ylempiä organisaatiotasoja: esimerkiksi ekosysteemiekologiassa tutkitaan energian virtausta ja alkuaineiden kiertokulkua koko ekosysteemin tasolla, yhteisöekologiassa eliölajien sisäisiä ja välisiä vuorovaikutuksia ja populaatioekologiassa yksittäisen populaation kasvuun vaikuttavia tekijöitä. Yksilön tasolla voidaan tarkastella anatomiaa ja fysiologiaa, mutta esimerkiksi myös kehitysbiologian alaan kuuluvia ilmiöitä, kuten yksilön ja sen rakenteiden kasvua ja erilaistumista. Elimistöjä tutkitaan erityisesti lääketieteessä, ja kullekin elimistölle on omat erikoistuneet tutkijat ja lääkärit; esimerkiksi neurobiologiassa tutkitaan hermostoa, nefrologiassa munuaisten toimintaa ja gastroenterologiassa ruuansulatuselimistöä. Vastaavasti histologiassa tutkitaan kudoksia, solubiologiassa solutason ilmiöitä ja molekyylibiologiassa solua pienempien elävien järjestelmien toimintaa (Taulukko 1.1a, b).

*Taulukko 1.1a. Erilaisia tapoja jaotella biologian tieteenalan kokonaisuuksia ja esimerkkejä näiden jakojen perusteella nimetyistä aloista (taulukko jatkuu seuraavalla sivulla).*

<i>Jaon peruste</i>	<i>Biologian ala ja tutkimuskohde</i>	<i>Esimerkki</i>
Eliöryhmä	Virologia, virukset	Françoise Barré-Sinoussi ym. (1983) eristivät HI-viruksen ja saivat sen ensimmäisenä kasvamaan lymfosyyteistä.
	Mykologia, sienet	Toby Kiers ym. (2011) muotoilivat teorian sienten mykorritsajuurien ravinteiden kulun periaatteista.
	Myrmekologia, muurahaiset	Lotta Sundström (1994) havaitsi, miten muurahaistyöläiset suosivat itselleen lähintä sukua olevia toukkia.
Organisaatio- taso	Ekosysteemi- ekologia, aineiden kierto ja energian virtaus	Lucy Braun (1950) muotoili keskeiset periaatteet, miten Pohjois-Amerikan eri alueille on kehittynyt erilaisia metsäbiotooppeja.
	Histologia, kudokset	Maud Menten muotoili entsyymikinetiikan keskeisen, ns. Michaelis–Mentenin yhtälön (Michaelis & Menten, 1913).
	Molekyylibiologia, biomolekyylien rakenne ja toiminta	Rosalind Franklin tulkitse DNA:n rakenteen oikein röntgendiffraktiokuvasta (Franklin & Gosling, 1953).
Ilmiöt	Genetiikka, perinnöllisyyteen liittyvät ilmiöt	Barbara McClintock (1931) kuvaili ensimmäisenä meioosin aikaisen tekijäinvaihdunnan.
	Ekologia, eli- öiden väliset vuorovaikutukset	Rachel Carson (1962) julkaisi kirjan Hiljainen kevät, joka kuvasi DDT:n kerääntymistä ravintoketjuihin.
	Kehitysbiologia, yksilönkehitys	Christiane Nüsslein-Volhard ja Eric Wieschaus (1980) löysivät keskeisiä banaanikärpäsen ruumiinrakennetta määritteleviä rakennegeenejä.
	Systematiikka, lajien sukulaisuussuhteet	Abbedissa Hildegard Bingeniläinen kuvasi 1160-luvulla yli 500 kasvia ja eläintä, joita voidaan käyttää lääkinällisesti (von Bingen ym., 2010).

*Taulukko 1.1b. Erilaisia tapoja jaotella biologian tieteenalan kokonaisuuksia ja esimerkkejä näiden jakojen perusteella nimetyistä aloista (taulukko jatkuu edelliseltä sivulta).*

<i>Jaon peruste</i>	<i>Biologian ala ja tutkimuskohde</i>	<i>Esimerkki</i>
Tutkimusvälineet	Mikrobiologia, pienet eliöt	Emmanuelle Charpentierin ja tutkimusryhmänsä ansiosta Crispr-Cas9-entsyymijärjestelmästä tuli keskeinen bioteknologian työkalu (Jinek ym., 2012).
	Laskennallinen neurobiologia, hermoverkkojen mallintaminen	May-Britt Moser tutkimusryhmineen loi pohjan nykyiselle ymmärrykselle, miten aivot käsittelevät paikkatietoa (Stensola ym., 2012).
Soveltavat tavoitteet	Luonnonsuojelubiologia, populaatioiden, lajien ja ekosysteemien suojelu	Biruté Galdikas (1995) teki urauurtavaa tutkimusta orangien elinympäristön käytöstä ja suojelemisesta.
	Bioteknologia, eliöiden muokkaaminen ja syntetisointi	Frances Arnold kehitti ohjatun evoluution menetelmää käyttäen uuden toiminnallisen version olemassa olevasta entsyymistä (Chen & Arnold, 1993).

Biologian tieteenaloja määrittävät myös *käsitteelliset jaot*. Esimerkiksi perinnöllisyystiede eli genetiikka on tutkimusala, jossa laajasti ajateltuna tutkimus voi kohdistua biomolekyyleistä populaatioihin saakka, kun tarkastellaan eliöiden RNA- ja DNA-ketjun rakennetta ja toimintaa. RNA ja DNA sijaitsevat eliöiden soluissa, mutta niiden vaikutukset näkyvät eri organisaatiossa eliöiden rakenteissa ja niiden toiminnoissa. Tämän takia genetiikka liittyy kaikkiin elämänilmiöihin ja koskee myös viruksia. Genetiikka jakautuu eri osa-alueisiin tutkimuskysymysten ja käsitteiden mukaan. Populaatiogenetikassa tutkitaan genejä ja alleleja eli geenin erilaisia rakennemuotoja populaation tasolla. Tällöin ei olla kiinnostuneita geenien fyysikaalisesta rakenteesta tai toiminnasta vaan siitä, miten eri geenimuotojen eli allelien lukusuhteet muuttuvat sukupolvesta toiseen. Populaatiogenetiikka on vahvasti linkittyneet evoluutiobiologiaan, jossa tutkitaan eliölajeissa ajan mittaan tapahtuvia muutoksia. Molekyyligenetikassa puolestaan ollaan kiinnostuneita geenien toiminnan fyysikaalisesta perustasta: milloin tietty geeni muuttuu aktiiviseksi ja mitä molekyylejä syntyy geenien ilmentyessä. Populaatiogenetikko ja mo-

lekyyligeneetikko käyttävät tutkimuksissaan erilaisia käsitteitä tai tutkimusmenetelmiä ja tällöin he todennäköisesti toimivat myös eri tutkimusryhmissä. Molemmat käyttävät käsitettä 'geeni', mutta viittaavat tällä eri asioihin (Gerike, 2008).

Käsitteiden lisäksi yhteiset tutkimusvälineet ja -menetelmät voivat olla syynä osa-alueen synnylle. Mikrobiologiaa määrittää ennen kaikkea tekniikka, jota vaaditaan tutkimukseen tutkimuskohteiden pienen koon takia. Mikroskooppiset eliöt ovat toiminnaltaan hyvin monimuotoisia ja rakenteeltaan erilaisia. Hyvin pienikokoisten eliöiden tutkimus vaatiikin omanlaisensa teknologian, kuten erilaiset kasvatusmenetelmät, erityyppiset mikroskoopit ja geenitekniikan tutkimuksen apuvälineet.

Osa tieteenalojen välisestä jaottelusta on myös poliittista ja historiallista. Kuuluisin esimerkki jaottelusta on 1900-luvun johtaviin evoluutiobiologeihin kuuluvan Ernst Mayrin ajama jako molekyyli- ja solutason tutkimukseen sekä luonnonhistorialliseen evoluutiotutkimukseen (Dewsbury, 1999). 1960-luvulle tultaessa perinteistä luonnonhistoriallista tutkimusta alettiin pitää vanhanaikaisena, kun molekyylibiotieteiden puolella oltiin avaamassa ihmisen perimän rakennetta. Mayr (1993, 2004) halusi korostaa luonnonhistoriallisen tutkimuksen tarpeita ja alkoi puhua *proksimaattisista* ja *ultimaattisista* kysymyksistä. Mayrin mukaan molekyylibiologia kertoo, *miten* biologiset rakenteet toimivat (proksimaattiset syyt), kun taas luonnonhistoria – ja erityisesti evoluutiivinen tutkimus – kertoo, *miksi* eliölajit ovat kehittyneet tietynlaisiksi (ultimaattiset syyt). Mayrista nämä molemmat olivat tärkeitä ja tarvitsivat omat tutkimuslaitoksensa. Mayrin onnistumista kuvaa se, että esimerkiksi Suomessa monet biologian alan opinnot vieläkin jakautuvat karkeasti ”laboratakki-” ja ”saapasjalka”-puoliin. Monet erottelun keskelle jääneet tutkimusalat kuitenkin kärsivät jaottelusta. Esimerkiksi evoluutiivista lähestymistä ja kehitysbiologiaa yhdistelevä *evo-devo-tutkimus* (evolutionary developmental biology) on uudestaan noussut merkittäväksi alaksi vasta 1990-luvulla (Hall, 2012). Lisäksi geneettisten tutkimusmenetelmien kehittyessä luonnonhistoriallisen ja molekyylibiologian erottava jakolinja on heikentynyt. Molekyylibiologiset lähestymistavat ovat yhä yleisempiä kenttätutkimuksessa ja näiden osaaminen on välttämätöntä ekologeille.

Tieteenalana biologia limittyy myös ihmisen toiminnan ymmärtämiseen ja siten ihmistieteiden alueeseen. Monet biologien käyttämät käsitteet ovat läh-

töisin muiden tieteenalojen puolelta. Nykyään käytetään esimerkiksi ekosysteempipalveluiden käsitettä kuvaamaan ekosysteemien tuottamia aineellisia ja aineettomia palveluja, joista on hyötyä ihmiselle. Ihmiskeskeisenä käsitteenä se on muotoutunut taloustieteellisen ajattelun pohjalta. Toisaalta biologian käsitteitä käytetään alkuperäisestä merkityksestään poikkeavalla tavalla muilla tutkimusaloilla. Esimerkiksi ekologian ja ekosysteemin käsitteitä on alettu käyttää myös organisaatiotutkimuksessa ja taloudessa.

### 1.3 Biologian tyypillinen tutkimus

Kalojen evoluutiota tarkastelevissa tutkimuksissa oli havaittu, että lohi (*Salmo salar*) saavutti aikuisiän, eli pystyi lisääntymään joko pienikokoisena ja yleensä korkeintaan vuoden ikäisenä, taikka suurikokoisempana mutta useamman vuoden ikäisenä yksilönä (esim. Garland ym., 2022). Tutkijat halusivat selvittää vastauksen kysymykseen, onko lohien perimässä geenimuotoja, jotka vaikuttavat lohien aikuistumiseen eli sukukypsyyden saavuttamiseen. Lohien aikuistumisessa oli havaittu vaikuttavan ilmiön, jota kutsutaan *ristiriesaksi* (trade-off, vrt. Nicola ym., 2015). Ristiriesa on teoreettinen evoluutiobiologinen malli, jonka mukaan kaksi hyödyllistä ominaisuutta ei voi esiintyä eliölajilla yhtä aikaa, vaan toisen ominaisuuden vahvistuminen voi tapahtua vain toisen ominaisuuden kustannuksella. Lohella ristiriesaa on kasvun ja lisääntymismenestyksen välillä: mitä kauemmin lohien koko kasvaa ennen aikuistumista, sitä todennäköisemmin se kuolee ennen lisääntymistään. Toisaalta mitä isompana lohi lisääntyy, sitä suurempi sen jälkeläismäärä on kutuaikana.

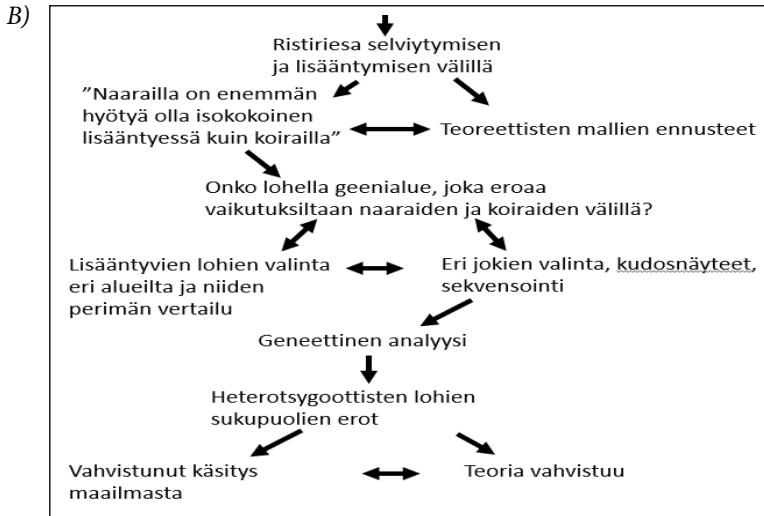
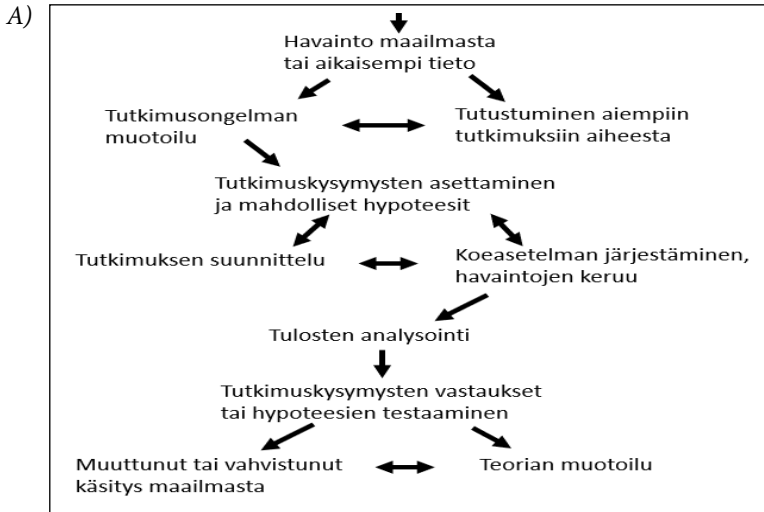
Lohien lisääntymisen ristiriesaa eroaa sukupuolilla: naaraat hyötyvät lisääntymisessä enemmän isosta koosta kuin koiraat. Tämä aiheuttaa niin sanotun geneettisen konfliktin: luonnonvalinta suosii eri sukupuolilla eri geenimuotoja, jolloin evoluution suuntaa on vaikea ennustaa. Teoreettinen malli ennustaa, että ratkaisuna tällaisissa tapauksissa voi olla se, että sama geenimuoto aiheuttaa erisuuntaisen vaikutuksen koiraisissa ja naaraissa. Näin ollen tutkijat ennustivat, että he löytäisivät lohien genomista geenialueen, jonka vaikutukset, eli geenin ilmeneminen (gene expression), olisi erilainen eri sukupuolta olevissa yksilöissä.

Tutkijat (esim. Nicola ym., 2015) keräsivät eri alueilta jokeen nousevia lohia ja ottivat näiltä kudoksenäytteitä, joista pystyttiin määrittämään lohien perimä

eli vanhemmalta jälkeläiselle sukusolujen DNA:n kautta siirtyvä perintöaines. Lohet lisääntyvät kerran elämässään, joten niiden nousu kutujokeen on merkki aikuistumisesta. Tutkijat pystyivät määrittämään tarkasti lohien iän niiden suomujen rakenteen perusteella. Tutkijat löysivät yhden alueen perimästä, joka korreloi voimakkaasti aikuistumisiän kanssa. Tältä alueelta löytyi geeni VGLL3, jolla oli kaksi vaihtoehtoista muotoa eli alleelia, E (sanasta early) ja L (sanasta late). Jos lohityksilö oli genotyypiltään EE, se lisääntyi todennäköisemmin nuorena ja pienikokoisena, ja jos se oli LL, tämä yksilö lisääntyi todennäköisesti vanhana ja suurikokoisena sukupuolesta riippumatta. Mielenkiintoisia olivat *eriperintäiset* (heterotsygoottiset) lohet, joilla oli molemmat alleelit (EL): näistä naaraat lisääntyivät vanhoina ja suurikokoisina, koiraat nuorina ja pienikokoisina. Tutkijat totesivat, että lohien evoluutio oli tapahtunut teoreettisen ristiriesä-mallin mukaisesti ja heidän lähtöhypoteesinsa piti paikkansa. Lohen kasvua sääteli tietty geenialue, jossa oli kaksi eri alleelia. Lisäksi säätely oli erilaista heterotsygoottisilla (EL) koirailta ja naarailla.

Yhden ja yleisen tutkimuksen mallin esittäminen biologian tutkimukselle on kuitenkin haasteellista, koska biologia sisältää erilaisia tutkimusalueita. Biologia kokeellisena luonnontieteenä on ennen kaikkea laskennallinen eli kvantitatiivinen tieteenala, jossa pääosin pyritään mittaamaan luonnon ilmiöitä ja tunnistamaan lainalaisuuksia. Tämä tarkoittaa, että tutkimustyön ytimessä ovat tilastotieteelliset lähestymistavat. Kokeellinen tutkimus perustuu koekesittelyyn, jossa tutkitaan tarkkaan määritellyn biologisen ilmiön syy-seuraussuhteita, kuten luvun alun esimerkissä (Kuvio 1.1).





Kuvio 1.1. A) Biologisen tutkimuksen luonne kaaviokuvana ja B) sovellettuuna luvun 1 alussa olevaan esimerkkiin. Prosessi on jatkuva, joten tutkimuksen tuottama käsitys maailmasta on jälleen uuden tutkimuksen lähtökohta.

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, vaikuttaako tutkittava syy (lohen perimä) tutkittavaan ilmiöön (lohen ikä kudulle noustessa). Tällöin tutkija muotoilee tarkasti myös tutkimuskysymyksen, johon halutaan vastaus. Tieteellisen koeasetelman luonteeseen kuuluu myös, että tutkimuskysymyksen selvittämiseksi tehdään koe, jotta voidaan vertailla erilaisia oletuksia eli *hypoteeseja*, jotka pyrkivät erottelemaan erilaisia mutta mahdollisia syy-seuraus-suhteita. Tämän luvun alussa esitellyssä esimerkissä evoluutiobiologit esittivät teoreettisen ristiries-mallin pohjalta hypoteesin, että kasvuun vaikuttavat alleelit vaikuttavat eri tavoin koiras- tai naaraslohissa. Tutkimuksen tulos oli teoreettisen mallin pohjalta luodun hypoteesin mukainen (Kuvio 1.1).

Oppimateriaalien haasteena on, että niissä esitetyt tieteellisen tutkimuksen mallit voivat olla liian yleistettyjä ja perustua lähinnä kemian tai fysiikan tutkimukseen. Jo yksinkertaisenkin kokeen tekävä oppija voi havaita, että hänen toimintansa tutkimusta tehdessä voi erota paljonkin oppimateriaaleissa esitetyn luonnontieteellisen tutkimuksen perusmallista. Biologialle on ominaista, että tutkimus ei välttämättä perustu koeasetelmaan, kun esimerkiksi tutkitaan jotakin elollisen luonnon ilmiötä ulkona. Biologiassa tutkimuskohteenä ovat elävät eliöt, jolloin koeasetelmien olosuhteiden vakiointi on paljon vaikeampaa kuin kemiassa tai fysiikassa. Opettajan on tunnettava biologinen tutkimusprosessi ja sen didaktiset mallit voidakseen toteuttaa opetuksessa opetus suunnitelman edellyttämiä pienimuotoisia tutkimuksia (Opetushallitus [OPH], 2014, 2019). oppijan luonnontieteellisen osaamisen kartuttamiseksi (vrt. luvut 2 ja 7).

Oppijat ja tutkijat lähestyvät usein tutkimustaan hyvin samalla tavoin: taustalla on halu löytää vastaus kiinnostavaan tutkimuskysymykseen. Havainnoivasakin tutkimuksessa keskeistä on, että siinä testataan jotain tiettyä hypoteesia tutkittavasta ilmiöstä. Tämä vaatimus liittyy siihen, että tiede on kumulatiivisesti rakentuvaa ja itsestään korjaavaa. Tieteenfilosofi Karl Popper (1959) on korostanut, että tutkimuksella ei koskaan saada todistettua varmaksi mitään teoriaa, vaan tutkimustulokset voivat ainoastaan tukea olemassa olevaa teoriaa. Toisaalta teoria on aina oltava *testattavissa* eli falsifioitavissa. Falsifiointi tarkoittaa, että teoria voidaan testata siten, että se voi osoittautua virheelliseksi tai epätodeksi, jos testitulokset ovat ristiriidassa teorian oletusten tai ennustusten kanssa. Tutkimusta suunniteltaessa on siis rakennettava koeasetelma tai havainnoivan tutkimuksen asetelma, jossa on aina kaksi vaihtoehtoa: tutkimuksen tulosten on joko vahvistettava tai heikennettävä testattavaa hypo-

teesia. Tulokset voivat tietenkin olla myös ristiriitaisia tai moniosaisissa tutkimuskysymyksissä osin tukea ja osin heikentää teoriaa.

Koeasetelman ja tutkimusmenetelmien valinta on olennainen ja keskeinen osa tieteen tekemistä. Kokeellinenkaan tutkimus ei ole koskaan suoraviivaista vaan toisteista eli *iteratiivista*. Tällöin tutkimuskysymykset ja niiden hypoteesit, tutkimuksen suunnittelu ja erilaiset pilottikokeet ovat iteratiivisessa prosessissa, jossa näitä kutakin hiotaan toistensa suhteen. Monesti yleiseen, laajaan tutkimuskysymykseen on mahdotonta vastata suoraan, joten se on pilkottava pienempiin osiin. Jos tutkimuksen tavoite on esimerkiksi selvittää, miksi kirahville on kehittynyt pitkä kaula, tutkijoiden on pohdittava läpi eri selitykset kaulan pitenemiselle ja kerättävä aineistoa kunkin hypoteesin vahvistamiseksi tai kumoamiseksi. Joskus kesken tutkimuksen selviää, ettei tutkimuskysymykseen pystytä vastaamaan tai että tutkimuskysymystä pitää täsmentää. Tämä kaikki on osa normaalia kokeellisen tutkimuksen prosessia.

Muista luonnontieteistä poiketen biologiassa on myös laadullista eli kvalitatiivista tutkimusta tai kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tutkimuksen yhdistelmää. Eliöiden rakenteiden kuvauksiin ja uusien eliölajien kuvauksiin liittyy kvalitatiivista tietoa, jota kuvataan esimerkiksi valokuvin tai piirroksin. Siinä missä eliölajeja erottavat tuntomerkit voivat olla esimerkiksi ruumiinrakenteiden pituuksia, ne voivat myös olla suhteellisesti erimuotoisia tai väritykseltään erilaisia rakenteita. Kun eläinten käyttäytymistä tutkitaan, niiden synnynäiset käyttäytymismallit kuvaillaan ensin laadullisesti – esimerkiksi tunnistamalla ja kuvailemalla koiran käyttäytymisen piirteet. Kuvauksen jälkeen koiraeläimille ominaisten käyttäytymismallien, kuten alistumisen tai anelun osoittamisen yleisyyttä voidaan mitata eri koirayksilöillä. Kasvillisuuskartoituksissa eliölajit tunnistetaan ensin laadullisesti ja sitten niiden yleisyyksiä mitataan määrällisesti. Kvanttamismenetelmät ovat keskeisiä solu- ja molekyylibiologian tutkimuksen tapoja. Niitä käytetään erottelemaan laadullisia eroja, kuten tietystä kudoksessa ilmenevien tiettyjen geenien määrää suhteessa johonkin toiseen kudokseen. Lääketieteellisessä diagnostiikassa käytetään usein röntgen- tai magneettikuvausta, kun halutaan tutkia, ovatko ihmisen elimet tai kudokset normaalia vastaavassa tilassa, vai löytyykö niistä poikkeavuuksia kuvien avulla.

## 1.4 Biologia eroaa muista luonnontieteistä

Elämän tutkimus on aikaisemmin ollut ennen kaikkea lääketieteen valtapiiiriin kuuluvaa, koska se kertoo ihmisen kehon toiminnasta. Osittain tutkimus on ollut myös luonnonteologiaa, koska luonnosta etsittiin todisteita jumalallisesta läsnäolosta. Biologiassa tutkittiin 1800-luvulle asti lähinnä anatomiaa tai fysiologiaa. Kasvitiede liittyi pitkään vahvasti lääkkeiden valmistamiseen. Luonnonhistoriallisen tutkimuksen merkitys puolestaan ymmärrettiin Jumalan luomien lajien kartoittamisena. Aristoteles liitti eliöiden tutkimuksen osaksi luonnontieteitä Fysiikka-teoksessaan (suom. Jatakari & Näätäsaari, 1992), mutta nykyaikaisessa mielessä biologia liittyi osaksi luonnontieteitä suhteellisen myöhään. Biologian osalta tieteellinen vallankumous tapahtui myöhemmin kuin esimerkiksi fysiikassa. Biologian laskennallinen pohja luotiin vasta 1900-luvun alkupuolella, kun tilastotieteelliset apuvälineet ja koikkeelliset tutkimusasetelmat mahdollistivat teorioiden kehittymisen (Morange, 2021).

Todellinen biologian tutkimuksen esiinmarssi kuitenkin tapahtui vasta 1900-luvun loppupuolella ja 2000-luvulla, kun käsitys elämästä muuttui radikaalisti. 1950-luvulla saatiin selville biologisen periytymisen fysikaalinen perusta, kun DNA-molekyylin rakenne ja merkitys selvitettiin. Tästä on seurannut nopea tiedon kertyminen siitä, miten ihmisen ja muiden eliöiden yksilönkehitystä säädellään. 1960-luvulta lähtien myös ekologian ja evoluutiobiologian kehitys on ollut nopeaa. Käsitys eliökunnan sukupuusta on myös muuttunut jatkuvasti uusien tutkimusmenetelmien ansiosta.

Fysiikasta ja kemiasta poiketen biologiset ilmiöt ovat luonnonhistoriallisia. Nykyään nähtävissä oleva ja tutkimuksen kohteena oleva biodiversiteetti on kehittynyt miljardien vuosien pituisessa prosessissa, jota kutsutaan evoluutioksi. Biologia on siis osaltaan myös historiallisia tapahtumia tutkiva tieteenala, mikä antaa sille erityisen aseman luonnontieteiden joukossa. Biologia kietoutuu läheisesti yhteen maanpinnan kehitystä tutkivien geotieteiden ja ekosysteemien alueellista kehittymistä tutkivan luonnonmaantieteen kanssa, jotka myös osittain tarkastelevat luonnonhistoriallista kehitystä.

Biologian luonnonhistoriallisuus ja biologinen monimuotoisuus eliölajien ja yksilöiden tasolla synnyttävät olennaisen kysymyksen siitä, minkälainen biologian *luonne luonnontieteenä* (Nature of Science, esim. Lederman ym., 2014)

on. Kuinka paljon voidaan päätellä yhden eliölajin tutkimisesta laajempia lainalaisuuksia? Miten kehityshistoria on otettava huomioon eliölajien tutkimisessa? Eräs keskeisistä modernin evoluutiobiologian synteesein luojista Theodosius Dobzhansky kirjoitti vuonna 1973 (s. 125): ”Biologiassa mikään ei käy järkeen, paitsi evoluution kautta tarkasteltuna”. Kuitenkaan Dobzhansky ei tässä niinkään linjannut biologian luonnetta tieteenä, vaan hän kirjoitti näin *American Biology Teacher*-lehdessä, eli ajatus oli tarkoitettu opettajille neuvoksi biologian opetuksen kontekstista.

Keskeinen tieteenfilosofinen kysymys on ollut, onko biologiassa luonnonlakeja. Luonnonlaiksi kuvataan esimerkiksi fysiikan keskeisiä säännönmukaisuuksia. Arkhimedeeseen lain mukaan nesteeseen upotettuun kappaleeseen kohdistuu yhtä suuri noste kuin kappaleen syrjäyttämän nesteen paino on. Voiko elämän kehityskaaria kuvata samanlaisten luonnonlakien avulla kuin Arkhimedeeseen laki tai Newtonin vetovoimalait ovat? Biologia luonnontieteenä pyrkii ennustettavuuteen, sillä biologisen tutkimuksen koeasetelmat testaavat tutkijoiden asettamia hypoteeseja. Biologit tavoittelevat yleismaailmallista tietoa elämän luonteesta, kehityksestä ja toiminnasta. Biologiset järjestelmät eivät kuitenkaan ole samalla tavalla reduktionistisia kuin fysiikan ja kemian ilmiöt. Reduktionismissa ajatellaan, että kaikki ilmiöt ovat palautettavissa yksinkertaisiin fysikaalisiin tekijöihin (Rosenberg, 2008). Karkeasti voidaan sanoa, että biologia voitaisiin selittää ensinnäkin kemialla ja tämä vielä fysiikalla. Reduktion vastakohta on emergenssi: ylemmillä organisaatiotasolla tapahtuvia ilmiöitä ei voida ennustaa alempien organisaatiotasojen ilmiöillä. Biologiassa tämä synnyttää esimerkiksi seuraavanlaisia kysymyksiä. Voiko solun tapahtumia selittää atomien ja molekyylien välisillä reaktioilla? Voiko eliön toimintaa selittää solujen tapahtumilla? Voiko ekosysteemiä selittää yksilöiden toiminnalla? Tämänhetkinen ajatus on, että osa biologisista ilmiöistä redusoituu alemmalle tasolle, mutta eivät kaikki. Biologiset tapahtumat ovat useimmiten systeemisiä ja nämä systeemit reagoivat ympäristönsä kanssa. Tämä tarkoittaa, että biologiset tapahtumat ovat usein vaikeasti ennustettavia (Herring & Radick, 2019).

Biodiversiteetti tarjoaa biologialle *vertailevan tutkimuksen* lähestymistavan, ja tämä yhdistää biologiaa muihin kuin luonnontieteisiin. Vertailevalla tutkimuksella voidaan vertailla kahden tai useamman eliölajin toimintaa samassa viitekehyksessä, jolloin voidaan ottaa huomioon evoluutiohistorian vaikutus. Esimerkiksi voidaan verrata keskenään hyvin läheistä sukua toisil-

leen olevien eliölajien erilaisia yksilöitä, tai voidaan verrata keskenään hyvin kaukaista sukua toisilleen olevien eliölajien samanlaisia yksilöitä. Jos hyvin läheistä sukua olevat eliölajit ovat tiettyjen piirteiden suhteen hyvin erilaisia, voidaan päätellä, että nämä piirteet voivat muuttua evolutiivisesti katsottuna nopeasti. Jos taas hyvin kaukaista sukua olevat eliölajit ovat tietyn piirteen suhteen hyvin samanlaisia, tällöin voidaan päätellä, että tarkasteltavat piirteet ovat evolutiivisesti pysyviä (Westoby ym., 2023).

Yksi suurista evoluutiobiologian kysymyksistä on ollut, onko evoluutio toistettavissa. Jos ajassa voisi palata takaisinpäin ja elämä kehittyä uudestaan, tulisiko siitä silti pääpiirteissään samanlainen kuin nyt? Vaikka vastausta tähän kysymykseen ei ole olemassa, se on hyvä tapa hahmottaa sitä, miten luonnonlakien kaltaisina pidämme biologian tutkimustuloksia. Yhdysvaltalainen Harvardin yliopiston eläintieteen professori ja paleontologi Stephen Jay Gould esitti kirjassaan (Gould, 1989) ajatuskokeen: jos elämän nauhaa kelataan 600 miljoonaa vuotta taaksepäin ja seurattaisiin sen tapahtumia nykypäivään (”replaying the tape of life”), minkälaiselta nykyeliömaailma näyttäisi? Gouldin mielestä sukupuuttotapahtumat ovat satunnaisia tapahtumia, jotka vaikuttavat elämän kehittymisen suuntaan kaoottisesti. Hänen mielestään elämä kehittyisi aivan erilaiseksi ja evoluutio on lähtökohtaisesti ennustamattomissa.

Brittiläinen Cambridgen yliopiston evolutionaarisen paleontologian professori Simon Conway Morris (2004) puolestaan esitti, että eräiden ominaisuuksien kehittyminen elämän historian aikana olisivat olleet väistämättömiä. Morrisin mukaan esimerkiksi yhteyttäminen kehittyi, koska varhaiset omavaraiset eliöt pystyivät hyödyntämään orgaanisiin yhdisteisiin sitoutunutta energiaa. Samaten hän esitti päätelmän, että valoenergiaa yhteyttävät eliöt levisivät meristä maalle, koska maanpinnalla oli valoa ja vapaita ekolokeroita. Conway Morrisin mukaan yksittäisiä evoluutiopolkuja ei tietenkään voida ennustaa, mutta hänen mukaansa oli erittäin todennäköistä, että auringon säteilyenergiaa hyödyntävä eliöryhmä levittäytyi lopulta maan pinnalle, kunhan riittävästi aikaa oli kulunut. Vastaavasti Conway Morrisin (2004) mukaan puiden pituus kasvoi, koska valon saatavuus on omavaraisille eliöille välttämätöntä, ja valon saatavuudesta syntyy tällöin kilpailua. Puut ovat vihreitä, koska lehtivihreä puolestaan on tehokas valoa hyödyntävä molekyyli. Puiden mahdolliseen pituuteen vaikuttavat kuitenkin evoluution rajoitteet, eli kuinka paljon puiset rakenteet voivat kannatella niiden kasvanutta painoa, tai miten puiden aineenvaihdunta pystyy ylläpitämään suurikokoisia puita. Koska maalle levini-

neet yhteyttävät puumaiset eliöt joutuvat kilpailemaan valosta, jolloin puun korkeus oli kilpailun kannalta olennainen ominaisuus. Morriksen mukaan myös jonkinlaisen itsetietoisuuden omaavan eliön, kuten ihmisen, kehitys maapallolla olisi ollut väistämätöntä. Evoluutiobiologiassa ei voida tietenkään tehdä koeasetelmaa, joka vastaisi kysymykseen siitä, kuinka ennakoitavissa oleva jokin tietty evoluutioprosessi on.

*Ajatuskokeen* luominen on kuitenkin ollut tärkeä kehitysaskel sikäli, että kysymys on motivoinut monenlaisia pienempiä alakysymyksiä, jotka ovat auttaneet esimerkiksi hahmottamaan evoluutioprosessin reunaehtoja. Evoluution vaihtoehtoisten kehityskulkujen pohtiminen avaa biologian historiallisuuden ja siitä seuraavan luonnon monimuotoisuuden aivan uudella tavalla. Samalla se avaa luonnonlakeja ja biologisia ilmiöitä koskevan tiedon välistä suhdetta. Muissa luonnontieteissä, kuten kemiassa tai fysiikassa, ei voida helposti kuvitella vaihtoehtoisia todellisuuksia, koska aineen ja energian rakenne määräytyy vahvasti olemassa olevien luonnonlakien mukaan. Sen sijaan biologiassa voidaan kuvitella mahdollisia ympäristönsä tietyllä tavalla sopeutuneita eliöitä, joita ei kuitenkaan ole olemassa. Vaihtoehtoisten eliöiden kuvittelu voi auttaa hahmottamaan, mitkä ovat todellisia evoluution luonnonlakeja ja miten ne rajoittavat mahdollisten eliöiden maailmaa. Näitä ajatuskokeita toteutetaan myös peruskoulun ja lukionkin biologian opetuksessa.

## 1.5 Miksi–kysymykseen voi vastata monella tapaa

Aristoteles totesi Fysiikka-kirjassaan (suom. Jatakari & Näätäsaari, 1992), että vettä ei sada, jotta vilja kasvaisi, vaan koska vesihöyry jäähtyy ja sen seurauksena tiivistyy, kuvaten näin fysikaalista syy-seuraussuhdetta. Alalukujen 1.1.–1.4 pohjalta hahmotuu kuva biologiasta tieteenalana, joka pyrkii etsimään syy-seuraussuhteita, jotka selittävät *miten* ja *miksi* tietty asia tapahtuu elollisissa systeemeissä. Erilaisia käsitteistöjä on kehitetty, biologian osa-alueita syntynyt ja tieteellisen menetelmän mallia rakennettu, jotta syy-seuraussuhteita voidaan selvittää. Biologia kuitenkin koostuu monesta tieteenalasta, tutkimuskohteesta ja lähestymistavasta, minkä vuoksi biologisiin miksi-kysymyksiin on erilaisia lähestymistapoja.

Hyvänä esimerkkinä toimii eräs ylioppilaskirjoitusten tehtävä. Syksyn 2013 biologian ainereaalikokeen (2013) viidennessä kysymyksen tehtävänantona

oli: “Anna biologinen selitys seuraaville näkökykyyn liittyville puutteille: a) puna-vihersokeus ...” Ylioppilastutkintolautakunnan hyvän vastauksen piirteet kuvaavat oikean vastauksen seuraavasti: “Puna-vihersokeus johtuu silmän verkkokalvon punaiselle tai vihreälle valolle herkkien tappisolujen puutteesta tai häiriintyneestä toiminnasta. Seurauksena punaisen ja vihreän värisävyjä on vaikea erottaa toisistaan. Puna-vihersokeus aiheutuu X-kromosomissa pe-riytyvästä resessiivisestä alleelistä, joten se on harvinainen naisilla.” Hyvän vastauksen piirteessä on kirjattu kaksi biologista selitystä: verkkokalvon tappisolujen rakenne ja resessiivinen alleeli X-kromosomissa (Ylioppilastutkintolautakunta, 2013). Ovatko nämä selitykset kattavat? Ovatko ne riittäviä selityksiä? Mitä muita selityksiä voisi olla?

Biologisten kysymysten luonteen ymmärtämiseen Nikolaas Tinbergenin neljä kysymystä ovat erityisen merkittäviä (1963). Tinbergen oli etologi, eläinten käyttäytymisen tutkija, joten hänen kysymyksensä suuntautuvat erityisesti eläinten käyttäytymisen ymmärtämiseen (Taulukko 1.2). Tinbergenin kysymykset avaavat kuitenkin hyvän tarkastelukehikon myös muille biologian aloille. Tinbergen jakoi ensin kysymykset Mayrin jaottelun (vrt. alaluku 1.1) mukaisesti yhdellä ulottuvuudella: ultimaattiset ja proksimaattiset syyt. Lisäksi hän lisäsi toisen ulottuvuuden: staattiset ja dynaamiset syyt. *Ultimaattiset eli evolutiiviset syyt* vastaavat siihen, miksi eläin on kehittynyt siten kuin se on kehittynyt, kun taas *proksimaattiset eli mekanistiset syyt* vastaavat siihen, miten yksilön rakenteet toimivat. *Staattiset syyt* kertovat, miksi nykyisessä tilanteessa yksilö on sellainen kuin on, kun taas *dynaamiset syyt* kertovat, miten tilanne on kehittynyt nykyisenlaiseksi.

*Taulukko 1.2. Nikolaas Tinbergenin (1963) neljä kysymystä sovellettuna eliön piirteisiin.*

	<i>Staattinen</i>	<i>Dynaaminen</i>
Proksimaattinen	<i>Mekanismi (kausatiivinen)</i> Miten kyseinen piirre rakentuu tai toimii tietyssä hetkessä?	<i>Ontogenia (yksilönkehitys)</i> Kuinka piirre kehittyy yksilön elinkaaren aikana?
Ultimaattinen	<i>Funktio (sopeutuma)</i> Mikä on piirteen tarkoitus?	<i>Fylogenia (lajinkehitys)</i> Kuinka piirre on kehittynyt evoluution kuluessa?



Myös puna-vihersokeutta voidaan tarkastella tämän nelikon kautta (Taulukko 1.2). Ylioppilastutkintolautakunnan hyvän vastauksen piirteet kuvaavat ilmiötä tilanteessa, joka on luonteeltaan *proksimaattinen ja staattinen*. Tällöin tappisoluihin liittyvä selitys kertoo silmän rakenteeseen liittyvän fysiologisen tapahtuman mekanismista verkkokalvolla. Geneettinen selitys sen sijaan on luonteeltaan *ontogeeninen eli proksimaattinen ja dynaaminen*, sillä se osoittaa, *miten* yksilöiden geneettisistä eroista syntyy yksilönkehityksellisiä eroja, joiden lopputuloksena silmän värinäkö muotoutuu joko normaaliksi tai puna-vihersokeudeksi. Verrattuna normaaliin värinäköön, puna-vihersokeudessa ihmiseltä ei välttämättä puutu värien erotteluun tarvittavia tappisoluja, mutta tappisolujen aistima aallonpituus on lähempänä punaista kuin vihreää. Puna-vihersokeudessa tappisolujen värien erottelukyky on pienempi punaisen ja vihreän välillä, mutta suurempi keltaisen eri sävyissä. Ylioppilaskokeen tehtävä heijastelee biologian opetuksen perinnettä, jossa on keskitytty *miten*-kysymyksiin; biologisten rakenteiden ja hetkellisten prosessien opetukseen, jossa muutokset yksilökehityksen ja kasvun aikana jäävät vähemmälle huomiolle.

Edellä esitetyt hyvän vastauksen piirteet eivät ole kattavia kuvaamaan biologian ilmiöitä. Tehtävään vastaava opiskelija voisi esittää kysymyksen muitakin täysin oikeita selityksiä. Mitä nämä puuttuvat selitykset ovat? Minkälainen on puna-vihersokeuden *ultimaattinen ja staattinen* selitys, joka kuvaa piirteiden tarkoitusta, *funktioita* eli sopeutumaa? On ehdotettu (ks. Jameson ym., 2020), että puna-vihersokeudessa ilmenevä keltaisen sävyjen parempi erottelukyky parantaa erityisesti petojen havaitsemista savannilla. Tällöin puna-vihersokeus olisi merkki evolutiivisesta sopeutumisesta savanniympäristöön. On kuitenkin muistettava, että kaikki eliöiden piirteet eivät ole sopeutumia. Monenlaisia piirteitä voi ilmetä esimerkiksi geneettisen ajautumisen (genetic drift) seurauksena. Piirteet voivat syntyä myös geneettisen muutoksen sivuvaikutuksena ilman, että niihin on kohdentunut valintaa.

Miten *ultimaattinen ja staattinen* sopeutumaa kuvaava selitys sitten kuuluisi? Pääosa eläimistä on puna-vihersokeita, koska punaisen värin erottaminen ei ole suurimmalle osalle eläimistä ollut evolutiivinen valintaetu. Ihminen on yksi harvoista eliölajeista, joilla on kolmenlaisia tappisoluja, jotka mahdollistavat tarkan punaisen ja vihreän värinäön. Ihmisen *fylogeeniseen eli ultimaattiseen ja dynaamiseen* lajinkehitykseen liittyy tällöin selitys, jonka mukaan ihmiselle on muiden vanhan maailman kädellisten tavoin periytynyt useita tappisolutyyppejä, mutta jossakin vaiheessa ihmisen värinäön evoluutiota on syntynyt

mutaatio, joka on ollut evolutiivinen valintaetu savannilla ja joka vielä nykyäänkin aiheuttaa ihmisellä melko yleisenä säilyneen puna-vihersokeuden.

Biologian ilmiöiden selittämisessä toimii siis samaan aikaan sekä niiden funktionaalisuus, tässä ja nyt, mutta myös niiden kehityshistoria niin yksilön kuin eliölajinkin näkökulmasta. Eri biologian alat osallistuvat näiden eri selitysten selvittämiseen, koska yksilönkehityksen tutkiminen vaatii esimerkiksi erilaista lähestymistapaa kuin lajinkehityksen tutkiminen. Vanhastaan saapasjalka-aloina pidetyt ekologia ja evoluutiobiologia sekä laboratorioaloina pidetyt perinnöllisyystiede ja solu- ja molekyylibiologia ovat lähentyneet viime aikoina toisiaan, ja tämä kehityskulku tulee varmasti jatkumaan (vrt. alaluku 1.2). Uudet solu- ja molekyylibiologian tutkimusmenetelmät ja näiden muuntuminen myös yhä helpommin käytettäväksi kentällä tai muiden kuin mallieliöiden kanssa voivat antaa mahdollisuuksia myös biologian opetuksen uudistumiselle.

## 1.6 Opetussuunnitelma määrittää biologian oppiaineena

Biologia kuuluu suomalaisessa koulussa luonnontieteiden oppiaineisiin yhdessä fysiikan ja kemian kanssa. Biologialla on myös yhtymäkohtia maantieteen ja terveystiedon kanssa, jotka kuitenkin ovat selvimmin monitieteisiä oppiaineita. Maantiede yhdistelee muun muassa luonnonmaantiedettä, geologiaa, kosmologiaa, ympäristötiedettä ja ihmismaantiedettä, kun taas terveystiedon ankkurina toimii jo lähtökohtaisesti monitieteinen terveystieteen ala. Siinä missä biologia tieteenalana pyrkii uuden biologisen tiedon tuottamiseen, biologia oppiaineena puolestaan pyrkii opetuksen tavoitteiden saavuttamiseen. Biologian oppiaineen sisällöissä heijastuu nopeasti kehittyvä biologian tieteenala.

Perusopetuksen vuosiluokilla 1–6 biologia kuuluu ympäristöopin kokonaisuuteen, jossa mukana ovat myös fysiikka, kemia, maantieto ja terveystieto. Biologian osalta ympäristöopin opetuksen tavoitteena on, että oppija tuntee ja ymmärtää luonnonympäristöä, ihmistä, elämää, sen kehittymistä ja reunaehtoja maapallolla. Vuosiluokilla 7–9 sekä lukiokoulutuksessa geologiaa opiskellaan itsenäisinä oppiaineina. Tällöin opetuksen tavoitteeksi on asetettu elämän ja sen kehittymisen ymmärtäminen, luonnontuntemus ja ihmisen elintoimintojen, ekosysteemien toiminnan ja perinnöllisyyden ja evoluution

perusteiden ymmärtäminen. Lukion opetussuunnitelmassa (OPH, 2019) biologian opetuksen tehtävänä on muun muassa herättää kiinnostusta bio- ja ympäristötieteisiin. Sekä perusopetuksen ja lukiokoulutuksen biologian opetuksen yhteisenä tehtävänä on tukea oppijoiden luonnontieteellisen ajattelun kehittymistä, luontosuhdetta ja valmiuksia toimia kestävästä kehityksestä edistävällä tavalla (OPH, 2014; 2019). Biologiassa on lisätty erityisesti tutkimuksellisten työskentelytapojen, tieto- ja viestintäteknologian käytön ja luokkahuoneen ulkopuolisten oppimisen tavoitteita ja sisältöjä. Biologian opetuksen tulee myös antaa valmiuksia arkielämää, jatko-opintoja ja työelämää varten.

Luonnontieteiden opetuksessa painotetaan tiedon tuottamista, tiedon käsitteilyä ja analysointia sekä tiedon luotettavuuden arviointia (Abd-El-Khalick ym., 2004; Gericke ym., 2022; Oliveira & Bonito, 2023). Painotusten vuoksi myös biologian opetuksessa tulisi käyttää enemmän *tutkimuksellista* lähestymistapaa (vrt. inquiry-based science education, IBSE; Pedaste ym., 2015). Lähestymistavan tavoitteena on edistää luonnontieteellistä ajattelutaitoa ja luonnontieteen luonteen ymmärtämistä. Tutkimuksellisuutta toteutetaan opetuksessa esimerkiksi toiminnallisesti pienimuotoisia tutkimuksia ja kokeiluja tehden ja niiden tuloksia pohtien (vrt. Luku 2 ja 7).

Biologian tiedollisiin ja taidollisiin tavoitteisiin kuuluu myös biologian ilmiöiden ymmärtäminen ja taito oppia soveltamaan biologian tietoja ja taitoja eri yhteyksissä, kuten omassa elämässä ja aktiivisena yhteiskunnan jäsenenä (OPH, 2014, 2019). Affektiivisiä tavoitteita ovat muun muassa oppijan kiinnostus luontoa kohtaan ja luontosuhteen vahvistaminen sekä oppijan ohjaaminen kohti kestävästä elämäntapaa (OPH, 2014, 2019). Biologian oppiaineen arvopohja perustuu opetussuunnitelman perusteiden yleiseen arvopohjaan. Biologiassa etenkin ekologinen kestävyys ja luonnon monimuotoisuuden turvaaminen ovat keskeisiä arvopohjan tavoitteita.

Suurin osa koulubiologian sisällöistä lukeutuu biologian tieteenalaan, mutta opetuksen yleiset tavoitteet ja laaja-alaiset kokonaisuudet ovat osa biologian osaamistavoitteita. Biologian opetussuunnitelman perusteisiin sisältyy myös tiedonalan ulkopuolelle kurottavia kokonaisuuksia. Monet biologian sisällöt, kuten ekologisesti kestävä kehitys ja toiminta kestävästä elämäntavan edistämiseksi ovat myös kestävyyskasvatuksen alaan kuuluvia käsitteitä. Kestävyyskasvatuksen asenne- ja arvotavoitteita biologian opetuksessa ovat esimerkiksi

innostuminen toimimisesta kestäväen tulevaisuuden rakentamiseksi (OPH, 2014, 2019).

Opetuksessa on kuitenkin otettava huomioon, että monilla opetukseen sisällytetyillä käsitteillä on muu kuin biologinen merkitys. Esimerkiksi kestävä kehitys on poliittinen käsite, jota käytetään, kun pyritään sovittamaan yhteen jatkuva taloudellinen kasvu sosiaalisten ja ekologisten haasteiden kanssa. Ekosysteemipalvelu taas on taloudellinen käsite, jolla pyritään arvottamaan luonnon tuottamat arvot, jotta niitä voidaan mitata (Brondizio ym., 2019). Ekososiiaalinen sivistys kasvatustieteellisenä käsitteenä kuvaa kasvatusidealeja, joita kestävyyskasvatuksen tulisi sisältää (Salonen & Bardy, 2015).

## 1.7 Biologian opetuksen tutkimus

Koulubiologia on yksi oppiaine muiden luonnontieteiden joukossa. Näiden oppiaineiden opetus on osa *luonnontiedekasvatusta ja -opetusta* (science education). Englanninkielinen käsitteen määrittelyyn on voimakkaasti vaikuttanut angloamerikkalainen opetussuunnitelma-ajattelu (vrt. National Research Council [NRC] 1998, 2012a, 2012b). *Luonnontiedeopetuksella* tarkoitetaan opetuksellisia toimintatapoja, joilla edistetään luonnontiedekasvatuksen päämääriä. Oppiaineet eivät ole toisiinsa sulautettuja varsinkaan suomalaisessa opetussuunnitelma-ajattelussa, mutta niitä yhdistää luonnontieteellinen maailmankuva. Biologian opetuksen tutkimus on itsenäinen osa luonnontieteiden opetuksen ja *luonnontiedekasvatuksen tutkimusta* (science education research). Oppiaineen tutkimuksena se kuuluu didaktisen kasvatustieteen piiriin (biology didactics; reserch of biology education). Didaktiikka tutkii opetusta, joka rakentuu opettajan, oppijan ja oppiaineen välisenä suhteena (esim. Kansanen, 1999; 2009).

Biologian opetuksen tutkimus risteää biologian tutkimuksen kanssa, sillä keskeisten käsitteiden oppiminen ja käsitteellinen muutos perustuvat biologian tieteenalan luomaan käsitteistöön. Käsitteiden lisäksi opetusmenetelmät ja oppimisympäristöt ovat biologian didaktisen tutkimuksen kohteena. Opetussuunnitelmallisten tavoitteidensa vuoksi biologian opetuksen tutkimus nivoutuu yhteen myös kestävyyskasvatuksen kanssa. Yhteiskuntatieteisiin kuuluvana soveltavana tieteenä didaktiikka ja kasvatustiede voivat liittyä myös kasvatuspsykologian, kasvatussociologian, kasvatusfilosofian ja kasvatus-

historian alueisiin. Biologian opetuksen tutkimus voi liittyä myös *oppimistieteisiin* (learning sciences), joiden monitieteinen tutkimusalue liittyy muun muassa kasvatopsykologian, kognitiotieteiden ja tietojenkäsittelytieteiden aloihin (Sawyer, 2006). Oppimistieteet asettuvat kasvatustieteestä ja didaktiikasta eroavaksi tieteenaloiksi, sillä niillä ei ole samanlaisia kasvatuksellisia tai opetussuunnitelmallisia arvotavoitteita.

Suomessa opettajankoulutus on tutkimusperustaista (Niemi, 2016). Biologian opetustutkimusta on yliopistossa, joissa toteutetaan alan opettajankoulusta. Tutkimus on osa yliopisto-opettajien työnkuvaa, ja moni tutkimushanke on mahdollinen ulkopuoliseen rahoituksen avulla. Suomessa biologian opetuksen tutkimuksen pääteemat ovat osin samoja kuin luonnontieteiden opetuksen tutkimuksessa. Eurooppalaisten luonnontieteiden opetuksen tutkijoiden yhteisön (European Science Education Research Association, ESERA) ja biologian opetuksen tutkijoiden (European Researchers in Didactics of Biology, ERIDOB) konferensseissa on käsitelty muun muassa seuraavia aiheita:

- Käsitteiden oppiminen ja käsitteellinen muutos
- Oppimisen kognitiiviset, affektiiviset (kiinnostus, motivaatio, asenteet, arvot) ja sosiaaliset tekijät
- Opetusmenetelmät ja -prosessit
- Opetus ja oppiminen opetusteknologian avulla, mm. digitaaliset oppimisympäristöt
- Luonnontieteen luonne; historia, filosofia ja tieteen sosiologia
- Diskurssi ja argumentaatio opetuksessa
- Luonnontieteellinen ajattelutaito/osaaminen ja yhteiskunnallisuusluonnontieteelliset asiat (socio-scientific issues)
- Maasto-opetus (ulkona oppiminen), ympäristökasvatus/kestävän kehityksen kasvatus
- Terveyskasvatus
- Opetussuunnitelmat ja koulutuspolitiikka
- Oppijan oppimisen ja kehityksen arviointi
- Opettajankoulutus, täydennyskoulutus ja ammatillinen kehittyminen
- Opetus varhaiskasvatuksessa, peruskoulussa ja lukiossa
- Yliopisto-opetus

Edellä mainituista biologiassa tutkittuja teemoja ovat esimerkiksi oppimiseen vaikuttavat kiinnostus ja asenteet, opetusmenetelmät ja -prosessit, tutkimuk-

selliset lähestymistavat opetuksessa, maasto-opetus ja lajintuntemus osana biodiversiteettiopetusta, biologian opetus osana yhteiskunnallis-luonnontieteellisten aiheiden käsittelyä ja opettajan ammatillinen kehittyminen. Verrattuna muihin Pohjoismaihin, tutkimusta ulkona toteutettavasta opetuksesta on Suomessa vähän, myös biologian opetuksen alalla (Remmen & Iversen, 2022). Biologian opetus osana laajempia kokonaisuuksia on ollut myös tutkimuksen kohteena, esimerkiksi tutkimushankkeissa, joissa on tutkittu luonnontieteiden opetusta yleensä, ruokakasvatusta, kestävän kehityksen kasvatusta ja terveys- ja seksuaalikasvatusta. Opetussuunnitelmia, oppimista ja oppimisen arviointia koskeva tutkimus liittyy Opetushallituksen oppiainekohtaisiin laajoihin koko maata koskeviin seurantatutkimuksiin tai kansainvälisiin PISA-tutkimuksiin (esim. OECD, Organisation for Economic Co-operation and Development, n.d.).

## Luku 2. Luonnontiedekasvatus ja kestävän kehityksen kasvatus biologian opetuksessa

ANNA UITTO, EILA JERONEN JA EIJA YLI-PANULA

Luvussa 2 tarkastellaan biologian ainedidaktiikan, luonnontiedekasvatuksen ja kestävyyskasvatuksen välisiä suhteita. Luvun tavoitteena on tutkimuskirjallisuuden avulla selvittää, miten biologian opetustavoitteiden mukainen sisältötieto sekä ajattelu- ja toimintataidot laajenevat kohti kestävän kehityksen kompetensseja. Biologian opetuksen kannalta oleellista on ymmärrys biologiasta itsenäisenä oppiaineena ja osana luonnontieteellistä sivistystä ja kestävään elämäntapaan kasvamista. Keskeistä on oppia hyödyntämään biologian tietoja ja taitoja käsiteltäessä biologian ilmiöihin linkittyviä yhteiskunnallisia asioita kestävän tulevaisuuden näkökulmasta.

### 2.1 Biologian opetus luonnontieteellisen osaamisen edistäjänä

Puhuttaessa kouluoppimisen ja muun oppimisen piirteistä puhutaan *informaalista, formaalista, ja nonformaalista* oppimisesta (vrt. Johnson & Majewska, 2022). Informaali eli vapaamuotoinen oppiminen perustuu oppijan omaan henkilökohtaiseen elämismaailmaan ja sitä tapahtuu kaikkialla sekä arki-, koulu- ja työympäristöissä että vapaa-ajalla koko eliniän. Informaalille oppimiselle on tyypillistä riippumattomuus koululaitoksen määrittelemistä oppimistavoitteista.

Formaali oppiminen perustuu koulujärjestelmässä toteutettavaan opetukseen, jossa tiedollisella sisällöllä on tärkeä merkitys. Yleissivistävässä koulutuksessa tavoitteet ja sisällöt määritellään opetussuunnitelmissa vuosiluokittain ja oppimista arvioidaan säännöllisesti. Formaali koulutus on opintokelpoisuuden tuottavaa tai tutkintoon johtavaa. Koululaitoksen ulkopuolella tapahtuva tavoitteellinen, mutta virallisiin opetussuunnitelmiin kuulumaton ja vapaaehtoisuuteen perustuva oppiminen on luonteeltaan non-formaalia. Tällöin oppimisessa painottuvat erityisesti toiminnalliset taidot, emotionaalisuus ja sosiaalisuus. Formaali ja non-formaali oppiminen voivat yhdistyä opetuksessa, joita tarjoavat esimerkiksi tiedekeskukset, luonnontieteelliset museot ja

puutarhat sekä luonto- ja ympäristökoulut (vrt. Luku 8). LUMA-keskus Suomi on esimerkki kerhoissa tapahtuvasta luonnontiedekasvatuksesta kaikenikäisille oppijoille, myös koulujen opettajille (Aksela & Lehto, 2019; Kervinen ym., 2016). Kaikille kansalaisille, mutta useimmiten aikuisille tarjottavaa tiedekasvatusta kutsutaan *kansalaistieteeksi* (citizen science, Dickinson ym., 2012). Tällöin osallistujat keräävät havaintoja tai näyttöitä luonnosta tutkimuslaitoksille ja -projekteille. Myös koulujen oppilaat ovat osallistuneet kansalaistieteen hankkeisiin (vrt. Aivelo & Huovelin, 2020; Lukkarinen & Uitto, 2019).

Tässä teoksessa keskitytään oppimiseen perusopetuksessa ja lukiokoulutuksessa. Teoksessa käytetään lähinnä yleiskäsitettä 'oppija', kun tarkoitetaan yleensä koulutuksessa olevaa henkilöä perusopetuksesta lukioon ja aikuiskoulutukseen. Käsitettä 'oppilas' voidaan käyttää, jos tarkastelun kohteena on perusopetus ja 'opiskelija' mikäli kyse on lukiokoulutuksesta. Perinteisiä käsitteitä käytetään nykyisinkin varsinkin opetussuunnitelmissa (OPH, 2014, 2019).

Luonnontiedekasvatuksen ja -opetuksen avulla opitaan tarkastelemaan maailman ilmiötä tutkitun tiedon perusteella. Päämäärät ja toimintatavat ovat erilaisia kuin varsinaisessa tieteellisessä tutkimustyössä tai muussa luonnollisia ilmiötä käsittelevässä yhteiskunnallisessa keskustelussa ja toiminnassa, mutta ne liittyvät toisiinsa koulutuksen kautta.

Biologian opetuksen keskeinen tavoite on tukea oppijoita ymmärtämään elämän ilmiötä, tekemään havaintoja ja pienimuotoisia tutkimuksia, pohtimaan ilmiötä ja keskustelemaan niistä sekä käyttämään oppimaansa uusissa tilanteissa, kuten on kuvailtu 2010-luvun opetussuunnitelmissa (Opetushallitus [OPH], 2014, 2019). Tärkeää on pyrkiä herättämään oppijoiden kiinnostus biologian ilmiötä kohtaan sekä vahvistamaan heidän luontosuhdettaan ja vastuullisuuttaan ihmisen ja luonnon hyvinvoinnista. Tavoitteissa painotetaan myös oppijakeskeisyyttä ja opetuksen liittämistä yleisiin laaja-alaisiin oppimistavoitteisiin.



## *Luonnontieteellinen sivistys rakentuu luonnontieteellisen tiedon ja kompetenssien perustalle*

Nykyiset perusopetuksen ja lukiokoulutuksen opetussuunnitelmien tavoitteet ovat kattavat, mutta niissä ei tarkastella, mitä esimerkiksi termit ”luonnontieteellinen lukutaito” ja ”tutkimuksellinen oppiminen” tarkoittavat, millaisia kiistanalaisia yhteiskunnallisia teemoja sisältyy biologian opetukseen, miten biologia liittyy kestäväen kehityksen kasvatukseen ja miten oppijan lähtökohdat otetaan huomioon biologian opetuksessa ja osaamisen arvioinnissa. Opetuksen tutkimus määrittelee luonnontiedekasvatuksen ja -opetuksen keskeiseksi tavoitteeksi luoda perustaa oppijan *luonnontieteelliselle sivistykselle* (scientific literacy, Roberts, 2011). Suomessa on käytetty myös käsitettä *luonnontieteellinen lukutaito* ja nykyisin varsinkin arviointitutkimuksen yhteydessä käsitettä *luonnontieteellinen osaaminen*, kuten Opetus- ja kulttuuriministeriön julkaisemissa PISA-raporteissa (vrt. Hiltunen ym., 2023).

Kouluopetuksessa luonnontieteellinen sivistyksen kehittymiseen liittyy kolme *luonnontieteellisen tiedon* (scientific content knowledge) aluetta (vrt. OECD, 2019a):

1. Tieto biologian sisällöstä, kuten ilmiöistä molekyyleistä biosfääriin (subject content knowledge)
2. Tieto biologian tutkimuksen tiedonhankintatavoista, joita tarvitaan luotettavan ja testattavissa olevan tiedon tuottamiseen (procedural knowledge)
3. Episteeminen tieto käsittelee biologiaa luonnontieteenä, sen menettelytapoja tutkittaessa ja selitettäessä luonnollisen maailman ilmiötä sekä tapoja testata ja argumentoida tietoa kriittisesti tutkimusperustaisten todisteiden (evidence) perustalta malleja ja muita tieteellisiä esitystapoja käyttämällä (epistemic knowledge).

Episteeminen tieto on sisältötiedon laajin osa ja se sisältää myös sisältötiedon muut osat. Luonnontieteen luonne (Nature of science, NOS, Lederman ym., 2014) viittaa käsitykseen siitä, millaista luonnontieteelle ominaiset yleiset periaatteet ovat ja millaista tieteellisesti pätevää tiedonhankintaa on. Oleellinen on myös *luonnontieteellisen tiedon luonteen näkökulma* (Nature of scientific

knowledge, NOSK, Lederman & Lederman, 2019), joka tarkastelee erityisesti sitä, millaista luonnontieteellinen tieto on – esimerkiksi evoluutiobiologian, ekologian tai genetiikan tieto – ja miten sitä tuotetaan. Opetuksen tutkimuksessa käsitteitä NOS ja NOSK käytetään usein rinnakkain, vaikka niillä onkin eri merkitys (Lederman & Lederman, 2019). Episteemiseen tietoon kuuluu myös ymmärrys, että tieteellisen tiedon tulee olla jatkuvasti testattavissa, jolloin tieto voi olla muuttuvaa. Tieteelliseen toimintaan vaikuttavat myös ihmisten luovuus sekä sosiaalinen ja kulttuurinen ympäristö. Luonnontieteissä tiedolle on tyypillistä, että ajattelu perustuu teorialle, joka kattaa laajasti tietealan ilmiöt. Biologian ilmiöitä selittää kattavasti Charles Darwinin kehittämä *evoluutioteoria* (Darwin, 1859, vrt. Luku 1).

Opetuksen tavoitteena on tukea oppijan kykyä ja halua oppia ymmärtämään ja käyttämään luonnontieteellisiä tietoja ja taitoja erilaisissa yhteyksissä. Roberts ja Bybee (2014) kuvailevat luonnontieteellistä sivistystä edistävää osaamista *luonnontieteellisen kompetenssin* (scientific competence) käsitteen avulla seuraavasti:

1. *Ilmiön selittäminen luonnontieteellisesti*: luonnollisten ja teknologisten ilmiöiden selittäminen sekä ilmiöitä koskevien selitysten tai määrittelmien tunnistaminen, selittäminen ja arvioiminen. Keskeistä on sisältötiedon osaaminen.
2. *Tieteellisen tutkimuksen ymmärtäminen*: Biologisen tutkimuksen suunnittelun, toimintatapojen ja suorittamisen eri vaiheiden tunnistaminen, kuvaileminen ja arvioiminen. Keskeistä on menetelmätiedon osaaminen.
3. *Tieteellisen evidenssin tulkinta*: Eri tavoin esitetyn tieteellisen informaation, väitteiden ja argumenttien analysoiminen ja arvioiminen ja asianmukaisten päätelmien tekeminen niiden perusteella. Keskeistä on episteemisen tiedon osaaminen.

Tiedekasvatuksen alan käsitteistö voi vaikuttaa hankalalta hahmottaa, sillä suomenkielisessä alan PISA-tutkimuskirjallisuudessa myös käsitteet scientific literacy ja scientific competence kuvataan usein yleiskäsitteellä *osaaminen* (vrt. Hiltunen ym., 2023), vaikka ne ovat painotukseltaan erilaisia (vrt. Roberts & Bybee, 2014). Arviointitutkimuksessa kohteena on oppijoiden osaamisen

(performance) mittaaminen. Kompetenssi, luonnontieteellinen lukutaito ja luonnontieteellinen sivistys ovat sen sijaan oppimisen tavoitteita kuvaavia käsitteitä. Tässä teoksessa käytetään alkuperäisten lähteiden mukaista käsitettä *kompetenssi* (competence), koska halutaan keskittyä sen merkitykseen luonnontieteellisen sivistyksen kehittymisessä. Kompetenssin käsitteellä ymmärretään yksilön itsensä kehittämää kykyä, taitoa, halua ja tahtoa hyödyntää omaa luonnontieteellistä osaamistaan ja kokemuksiaan päätöksien tekemisessä ja toiminnassa. Kompetenssit ovat osa luonnontieteellistä sivistystä ja koulu voi tarjota tälle sivistyspäämäärälle ensimmäiset avaimet (vrt. Sjöström & Eilks, 2018).

Luonnontieteellinen sivistys ja kompetenssit liittyvät myös laaja-alaisiin oppimistavoitteisiin, kuten ajattelutaitojen oppimiseen ja arvokasvatukseen (esim. OPH, 2015, 2019). Kriittinen ajattelu on tärkeää biologian opetuksessa ja luonnontieteellisen osaamisen hyödyntämisessä (Puig & Jiménez-Aleixandre, 2022). Tavoitteena on muun muassa tukea oppijoita tunnistamaan, miten tutkittu tieteellinen tieto ja *ei-tieteellinen tai tieteenä esitetty* (pseudotieteellinen) väittämä eroavat toisistaan koskien esimerkiksi ilmastonmuutosta, luontokaota tai COVID-pandemiaa (Hansson, 2021). On tärkeää keskustella oppijoiden kanssa käsitteiden ja tiedon luonteesta ja miten tiedon luotettavuutta voidaan arvioida. Tärkeää on myös oppia tunnistamaan ihmisarvoa loukkaavien pseudotieteellisten väittämien epätieteellisyys ja epäeettisyys (Aivelo & Uitto, 2021; Harden, 2023). Keskustelu oppijoiden kanssa kytkeytyy usein myös moniin kestäväen kehityksen teemoihin, kuten ihmisoikeuksiin, eläinten oikeuksiin ja luontoarvoihin (Vrt. Luku 6).

## *Luonnontieteellisen osaamisen kolme ulottuvuutta*

Koulun luonnontieteiden opetusta eli biologiaa, fysiikkaa, kemiaa sekä luonnonmaantieteen aiheita koskevan luonnontiedekasvatuksen tavoitteet ovat laajentuneet perinteisistä oppiainetta korostavista painotuksista tietojen ja taitojen yksilölliseen, yhteiskunnalliseen ja ammatilliseen merkitykseen oppijaan omassa elämässä (Stuckey ym., 2013). Eri oppiaineet ja niiden opetus poikkeavat toisistaan, mutta opetussuunnitelmallisesti niillä on yhteinen yleissivistykseen kuuluva päämäärä eli luonnontieteellinen sivistys (Roberts, 2007, 2011; Roberts & Bybee, 2014). Robertsin (2007) mukaan luonnontieteellinen sivistys voidaan määritellä eri näkökulmien eli *visioiden* (vision) avulla (Taulukko

2.1). Visio 1 tarkoittaa luonnontieteen käsitteellistä osaamista (science literacy, Roberts, 2007, 2011) ja siinä painotetaan tieteenalaan kuuluvien tietojen ja taitojen osaamista ja luonnontieteen luonteen ymmärtämistä (Aikenhead, 2006). Visio 1 on biologian käsitteellisen osaamisen kannalta oleellinen ja nykyisisäkin opetus suunnitelmassa painotetuin alue.

*Taulukko 2.1. Luonnontiedekasvatuksen ja kestävän kehityksen kasvatuksen yhdistyminen kolmen vision jatkumona (vrt. Aikenhead, 2006, 2007; Roberts, 2011; Sjöström & Eilks, 2018, 2020).*

<i>Visio 1</i>	<i>Visio 2</i>	<i>Visio 3</i>
<i>Luonnontiedekasvatus</i>		<i>Kestävyyskasvatus</i>
Biologian käsitteellinen osaaminen: tiedot, taidot, arvot ja asenteet	Biologian kontekstuaalinen osaamisen, tietojen ja taitojen soveltaminen oman elämäntilanteissa ja yhteiskunnan jäsenenä	Biologian kriittis-refleksiivinen osaaminen kestävän kehityksen edistämiseksi
<i>”Biologia tiedonalana ja kouluttautumista varten”</i>	<i>”Biologiaa kaikille”</i>	<i>”Biologiaa kestävyysmuutosta varten”</i>
Biologian osaaminen tieteenalan näkökulmasta on ymmärrystä siitä, mitä ja millaisia biologian ilmiöt ovat, miten ja miksi ne tapahtuvat ja miten biologia tieteenalana tutkii elämän ilmiöitä. Osaaminen rakentuu kyvystä selittää biologian ilmiöitä, arvioida ja suunnitella biologista tutkimusta ja tulkita tietoa ja todisteita.	Biologian osaamisen soveltaminen omassa elämässä, ammatillisissa valinnoissa ja yhteiskunnan jäsenenä; biologia osana yleissivistystä, erityisesti biologian ymmärtäminen oman elämän tilanteissa ja yhteiskunnallisten kysymysten käsittelyssä	Biologian osaamisen soveltaminen transformatiivisessa oppimisessa kestävän tulevaisuuden edistämiseksi. Tavoitteena on sitoutuminen kestävyysajatteluun sekä halu, tahto ja kyky toimia kestävyden edistämiseksi.

Visiossa 2 luonnontieteellistä osaamista laajennetaan tieteenalan käsitteellisestä oppimisesta kohti yhteiskuntaa ja painotetaan jokaisen kansalaisen tarvitsemää kontekstuaalista luonnontieteellistä osaamista. Nykyisin alan tutkimuksessa käsite ”scientific literacy” ymmärretään laajasti käsittäen visiot 1 ja 2. Kuitenkin esimerkiksi PISA-tutkimuksissa on käytetty osaamisen arvioinneissa scientific literacy -käsitettä, vaikka tehtävät on muotoiltu vision 1 käsitteellisen osaamisen mukaisesti. Tämä johtuu siitä, että tietoja ja ajattelutaitoja mittaavien tehtävien vastaukset ovat luotettavammin arvioitavissa (Roberts &

Bybee, 2014) kuin erilaisia vaihtoehtoja ja arvopohdintoja edellyttävät tehtävien vastaukset.

Robertsin ja Bybeen (2014) tulkintaa käyttäen kestäväen kehityksen kasvatuksen tavoitteet sisältyvät biologian luonnontiedekasvatukseen esimerkiksi siten, että visioon 1 ajatellaan kuuluvan opetuksessa kestävyyyteen liittyvät tosiasiat, kuten ekosysteemien rakenne ja toiminta, ympäristöongelmat, biodiversiteetti tai virusten aiheuttamat epidemiat. Visioon 2 liittyvät oppijan omaa elämää tai yhteiskuntaa koskevat teemat. Nämä teemat ovat usein arvolatautuneita ja joihin ei ole olemassa yksiselitteisiä ratkaisuja, mutta joissa toimintatavoissa ja valinnoissa luonnontieteellinen osaaminen on tärkeää.

Sjöströmin ym. (2017) ja Sjöströmin ja Eilksin (2018, 2020) mukaan visioihin 1 ja 2 perustuvat tavoitteet eivät kuitenkaan yksin riitä luonnontiedeopetuksessa, vaan niiden lisäksi tarvitaan myös koulubiologian perustalta yhteiskuntaan suuntautuvaa visiota 3. Siinä oppimisen tavoitteena on kriittinen, yhteiskunnallisesti tiedostava ja osallistuva kansalainen, jolla on tietoja, taitoja, halua ja luottamusta osallistua monimutkaisten kestävyyshaasteisten ratkaisemiseen. Kokonaisuutena visiot muodostavat jatkumon, jossa tietojen, taitojen ja kompetenssien merkitys painottuu eri tavoin (Taulukko 2.1). Sjöström ja Eilks (2018, 2020) korostavat kestävyyskasvatukseen liittyvää kolmatta näkökulmaa: tiedekasvatusta kestävyysmuutosta varten (visio 3, science for transformation). Visio 3 mukaan oppimisen tavoite on *toimintakompetenssi* (action competence, vrt. Mogensen & Schnack, 2010) kestäväen kehityksen edistämiseksi. Tietojen ja taitojen oppimisen lisäksi opetuksen tulisi herättää kiinnostusta ja myönteisiä asenteita oppimista kohtaan, sekä vahvistaa oppijoiden kokemaa *minäpystyvyyttä* (self-efficacy, Bandura, 1997) suhteessa biologian opiskeluun. Myös oppijoiden tunnekokemukset voivat vaikuttaa opetuksen koettuun merkityksellisyyteen eli *relevanssiin* (Kokkonen & Laherto, 2018; Stuckey ym., 2013).

## 2.2 Biologian käsitteellinen osaaminen visiossa 1

Luonnontiedeopetuksen visiossa 1 painotetaan biologian tietojen ja taitojen oppimista (vrt. Luvut 1 ja 4). Haasteena biologian ymmärtämisessä on toisaalta tiedon yksityiskohtaisuus ja toisaalta yleistäminen ilmiöitä kuvattaessa. Opetuksessa keskitytään määrättyihin pääteemoihin, joiden avulla biologisia

rakenteita ja niiden toimintaa voidaan tarkastella molekyyliotasolta ekosysteemeihin ja biosfääriin. Biologian sisällöt voidaan kuvata neljän *ydinteeman* avulla (”big ideas in biology”, Dempster, 2023). Systeemitheorian mukaan biologisille järjestelmille ominaisia piirteitä ovat osajärjestelmät, jotka rajautuvat toisistaan erillisiksi joko rakenteiden tai toiminnan kautta. Rajautumiseen vaikuttavat sekä järjestelmien hierarkkisuus, vuorovaikutteisuus, avoimuus ja itsesäätvyvyys negatiivisten ja positiivisten takaisinkytkentöjen kautta että dynaamisuus eli järjestelmän tuotoksen vaihtelu ajan myötä esimerkiksi itsesäätvyvyyden seurauksena (Gilissen ym., 2020a, b).

### *Järjestelmäajattelu biologian opetuksessa*

*Järjestelmäajattelu* (systems thinking, vrt. Luku 4) on luonnontieteiden ja kestävän kehityksen ymmärtämisen kannalta keskeistä (Clayton & Radcliffe, 2018; El Batri ym., 2020; Palmberg ym., 2017). Assarafin ja Orionin (2005) sekä Gilissenin ym. (2020a, b) mukaan ja biologian opetukseen sovellettuna järjestelmäajattelu voi tarkoittaa rakenteellista ja yleistävää ajattelua ja muuttujien välisten suhteiden ja vuorovaikutusten ymmärtämistä sekä toiminnallista ajattelua, dynaamista ajattelua ja jatkuvuusajattelua. Järjestelmäajattelussa käsitteellisen ajattelun avulla voidaan ymmärtää, että biologiset systeemit, niiden toiminta ja vuorovaikutukset eivät ole suoraan havaittavissa olevia asioita (Assaraf & Orion, 2005). Orion ja Libarkin (2014) määrittelevät järjestelmäajattelun tarkoittavan rakenteellisen ja yleistävän ajattelun lisäksi myös *ongelmien ratkaisemista*. Assaraf ja Orion (2005) ja Stave ja Hopper (2007) lukevat järjestelmäajatteluun takaisinkytkentäajattelun.

Taulukossa 2.2 esitetään systeemiajattelun esimerkki soveltaen Assarafin ja Orionin (2005) hierarkkista mallia ekologian sisältötietoon. Kutakin järjestelmäajattelun osaa kuvataan ajattelutaitona, esimerkiksi ”rakenteellinen ajattelu” tarkoittaa taulukossa 2.2 systeemisii rakenteita koskevien käsitteiden ymmärtämistä ja käyttöä.

Järjestelmäajattelun perustaso eli osatekijöiden ymmärtäminen (Taso A) on otettu hyvin huomioon opetussuunnitelmissa, sillä niissä painotetaan taitoja tunnistaa, tarkastella, kuvailla ja selittää biologisia rakenteita molekyyliotasolta ekosysteemeihin ja biosfääriin. Järjestelmän osatekijöiden synteesi (Taso B) on otettu opetussuunnitelmissa huomioon tavoitteissa oppia tarkastelemaan

ja selittämään biologisten järjestelmien välisiä vuorovaikutussuhteita ja dynaamisia muutoksia eri organisaatiotasolla. Sen sijaan eri organisaatiotasojen vuorovaikutuksia koskevaan järjestelmäajatteluun liittyviä tavoitteita opetus suunnitelmissa ei tarkastella. Sen vuoksi esimerkiksi geenien ja ympäristön vuorovaikutukset, yksilönkehitys ja kasvu saattavat jäädä myös opetuksessa vähälle huomiolle (vrt. Aivelo & Uitto, 2021).

Systeemisen kokonaisuuden toiminnan ymmärtäminen (Taso C) on opetus suunnitelmissa mukana osittain. Syklisen ajattelun avulla tarkastellaan esimerkiksi järjestelmissä ilmenevää alkuaineiden kiertoa. Takaisinkytkentäajattelun avulla tarkastellaan erilaisia säätelyprosesseja ja homeostaasin ylläpitoa. Systeemisten kokonaisuuksien oppiminen voi olla haastavaa, sillä se yhdistää biologisten organisaatiotasojen toiminnan molekyyllitasoilta ekosysteemitasolle, esimerkiksi yhteyttämisessä ja hengityksessä hiilen, hapen ja vedyn kiertokuluissa (vrt. Luku 4).

Ympäristömuutosta käsiteltäessä jatkuvuusajattelun avulla voidaan tarkastella ilmastonmuutoksen etenemistä koskevia prosesseja. Tällöin ekologisten järjestelmien toiminnan lisäksi opetuksessa tarkastellaan ihmisen rakentaman ympäristön tuottamien hiilidioksidipäästöjen ja muiden ilmakehää lämmittävien kaasujen vaikutusta ilmakehässä ja lopulta ilmastonmuutoksessa. Ilmiöiden ymmärtäminen edellyttää systeemisten mentaalisten mallien luomista, esimerkiksi siitä, mikä ekosysteemi on ja miten se toimii ympäristönsä kanssa. Edellä mainittujen systeemisten kokonaisuuksien perustalta voidaan visioida ekosysteemien ja biosfääriin muuttumista ilmastonmuutoksen myötä (vrt. Luvut 4 ja 5).

Jatkuvuusajattelu on vaativaa, sillä siihen liittyvät periaatteessa taulukossa 2.2 esitetyt muut ajattelutasot. Koko biologisen järjestelmän ymmärtämiseen ja käsittelyyn tarvitaan yleistävää ajattelua. Yleistävä ajattelu on mentaalisten mallien luomista erilaisista järjestelmistä. Biologisten mentaalisten mallien avulla voidaan tukea esimerkiksi ravintoverkon ja energiapyramidin käsitteen ymmärtämistä ja soveltamista eri ekosysteemeihin. Luvun 1 taulukossa 1.2 osoitetaan, että biologian opetuksessa jatkuvuusajattelun huomioon ottaminen on evoluution ymmärtämisen ja tulevaisuuden visioinnin kannalta tärkeää.

Taulukko 2.2. Järjestelmäajattelun osatekijät ekologian opetuksessa.

<i>Järjestelmäajattelun luonne</i>	<i>Esimerkkejä biologisista järjestelmistä</i>	<i>Järjestelmäajattelun tasot</i>
<i>Jatkuvuusajattelu</i> Järjestelmän ajallisen muuttumisen ymmärtäminen (eteenpäin, taaksepäin)	Järjestelmän ajallinen muutos, kuten kasvu ja kehitys, evoluutio, tulevaisuuden muutoksia kuvaavat mallit	Taso C: Järjestelmän kokonaisuuden toiminnan ymmärtäminen
<i>Yleistävä ajattelu</i> Mallien (patterns) tunnistaminen	Elollisista järjestelmistä ja niiden osista sekä toiminnoista luodut mentaaliset mallit	
<i>Takaisinkytkentäajattelu</i> Järjestelmän osatekijöiden takaisinkytkentöjen ymmärtäminen (feedback loops)	Järjestelmän itsesäätelyssä negatiiviset takaisinkytkennät rajoittavat vaihtelua järjestelmässä, positiiviset takaisinkytkennät lisäävät järjestelmän häiriön vaikutusta	
<i>Syklinen ajattelu</i> Aineen kiertokulun ja energian siirtymisen tunnistaminen Maan järjestelmissä	Avoimet järjestelmät vaihtavat ainetta ja energiaa ympäristönsä kanssa; ekosysteemin toiminta, energian siirtyminen ja läpivirtaus, alkuaineiden kierto Maan järjestelmissä	
<i>Systeeminen ajattelu</i> Osatekijöiden merkityksen ymmärtäminen järjestelmässä	Makrotason järjestelmän rakenne ja toiminta, esimerkiksi osatekijöiden merkitys biologisten organisaatiotasojen hierarkkisessa kokonaisuudessa	Taso B: Järjestelmän osatekijöiden syntetisoiminen
<i>Dynaaminen ajattelu</i> Käsityksen muodostaminen järjestelmästä dynaamisena kokonaisuutena	Solun aineenvaihdunta; populaation tai ekosysteemin dynamiikka, esim. kannanvaihtelut, ekosysteemin sukkessio jne.	
<i>Vuorovaikutusajattelu</i> Vuorovaikutuksen tunnistaminen järjestelmän osatekijöiden välillä	Vuorovaikutukset solujen, kudosten jne. välillä; populaatioiden väliset vuorovaikutukset kuten kilpailu, saalistus, symbioosi jne.	
<i>Toiminnallinen ajattelu</i> Järjestelmässä tapahtuvien prosessien tunnistaminen	Järjestelmän rakenteiden toiminta, esim. kasvi- ja eläinsolun toiminta; eliölaajien ravinto jne.	Taso A: Järjestelmän osatekijöiden ymmärtäminen
<i>Rakenteellinen ajattelu</i> Järjestelmän osatekijöiden tunnistaminen	Elollinen järjestelmä koostuu osatekijöistä, joilla on rooli järjestelmissä, esim. kasvi- ja eläinsolu, eliölajit jne.	



## *Luonnontieteellisen osaamisen tavoitteet ja tieto- ja ajattelutaitojen luokittelu*

Luonnontieteellisen osaamisen ja järjestelmäajattelun tasojen määrittelyssä on yhtymäkohtia myös oppimistutkimukseen. Kasvatuspsykologi David Krathwohl (2002) rakensi opetusta varten alun perin kasvatuspsykologi Benjamin Bloomin luoman tieto- ja ajattelutaitojen taksonomian (Bloom, 1956) perustalta *tieto- ja ajattelutaitojen luokittelun*. Krathwohlin (2002) uudistamaa Bloomin taksonomiaa on hyödynnetty paljon opetuksen tutkimuksessa ja esimerkiksi oppimistehtävien suunnittelussa ja arvioinnissa (Aksela ym., 2012; Anderson ym., 2001) sekä opetussuunnitelmien tavoitekuvauksissa (vrt. OPH, 2014, 2019). Krathwohlin (2002) taksonomialla on yhtenevyyksiä myös luonnontieteellisen osaamisen määritelmiin. Taksonomiassa *faktatieto* tarkoittaa tietoja yleisestä terminologiasta, ilmiöiden erityisistä yksityiskohdista ja merkeistä, kuten DNA, H<sub>2</sub>O, ja eliölajien nimistöstä. *Käsitetietoa* ovat yksittäiset käsitteet sekä laajemmat käsittekokonaisuudet ja niiden yhteydet. Esimerkiksi ekosysteemi on käsite, joka sisältää lukuisia alakäsitteitä. *Menetelmätieto* on tietoa siitä, miten jokin asia tehdään tai miten jokin ongelma, vaikkapa oppimistehtävä ratkaistaan. Se on myös tietoa tutkimusmenetelmistä kuten siitä, miten biologiassa tehdään havaintoja ja tutkitaan elämän ilmiöitä. *Metakognitiivinen tieto* on oppijan tietoa siitä, miten hän hallitsee omaa oppimistaan ja osaa suunnitella opiskeluaan.

Krathwohl (2002) jakaa *ajattelutaidot* (cognitive skills) kuuteen luokkaan, joita ovat *muistaminen, ymmärtäminen, soveltaminen, analysoiminen, arvioiminen ja luominen*. Myös ajattelutaidot muodostavat systeemisen kokonaisuuden, jossa edelliset tasot sisältyvät seuraaviin. Biologian opetussuunnitelmissa tärkeää on peruskäsitteiden ja käsittekokonaisuuksien oppiminen. Tällöin ajattelutaitojen tavoitteina ovat käsitteiden muistaminen ja ymmärtäminen. Luonnontiedekasvatuksen määrittelemässä tämä tarkoittaa sisältötiedon osaamista ja taitoja selittää luonnontieteellisiä ilmiöitä (Robers & Bybee, 2014).

Vaativimpia ajattelutaitoja ovat analysoiminen, arvioiminen ja luominen (Krathwohl, 2002). Luonnontieteellisessä osaamisessa nämä ajattelutaidot liittyvät menetelmätiedon hallintaan ja taitoihin käyttää ja arvioida menetelmätietoa joko kirjallisessa tehtävässä tai pienimuotoisen tutkimuksen tekemisessä. *Analysoiminen* on esimerkiksi *aineistopohjaisen* tehtävän käsittelyä siten, että oppija osaa jakaa tehtävän osiin, ymmärtää osien keskinäiset suhteet ja

osaa rakentaa niistä uuden kokonaisuuden, kuten ratkaista eliölajin geenien ilmenemistä ja ominaisuuksien periytyvyyttä esittävän risteytyskaavion. *Arvioiminen* ajattelutaitona tarkoittaa ilmiön tai tuotoksen kriteeriperustaista arviointia ja se liittyy myös episteemiseen tietoon ja taitoon. Opettaja ja oppija voivat vertailla kriteeriperustaisesti esimerkiksi biologisen ilmiön eri tapauksia (Jansen ym., 2019). Lukiossa voi olla tehtävänä arvioida kahta suojeleuhjelmaa ja argumentoida kumpi niistä edistää uhanalaisen eläinlajin suojeleua paremmin, kun lajin ekologia ja eloonjäämistä edistävät tekijät tunnetaan. *Luominen* tarkoittaa jonkin uuden asian tuottamista, esimerkiksi uuden tutkimuskysymyksen muotoilua, ilmiötä kuvaavan mallin tai toimintatavan kehittämistä. Käsitteellisesti uuden luominen rakentuu muille ajattelutaidoille, joten Krathwohlin (2002) luokittelussa se on ajattelun vaativin muoto, johon liittyy myös episteeminen osaaminen.

### *Tutkimuksellinen lähestymistapa biologian opetuksessa*

Biologian opetuksessa luonnontieteellistä osaamista voidaan edistää ydin-teemojen osalta esimerkiksi kehittämällä oppijoiden taitoja etsiä tietoja ja toteuttaa tutkimusvälineitä käyttäen pienimuotoisia tutkimuksia. Oppimateriaaleissa luonnontieteellisen tutkimuksen vaiheet on kuvattu perinteisesti opettajajohtoisesti ja strukturoidusti luonnontieteellistä tutkimusprosessia kuvaavilla tavoilla (vrt. Luku 1). Yksityiskohtainen luonnontieteellinen tutkimus toimintamallina ei kuitenkaan edusta luonnontiedekasvatuksen ideaa. Luonnontieteiden opetuksessa tulisi käyttää sosio-konstruktivistista ja yhdessä oppimista painottavaa *tutkimuksellista lähestymistapaa* (inquiry-based science education, IBSE) (Pedaste ym., 2015). Opetussuunnitelmien mukaan tutkimuksellisuuden tulee sisältyä biologian opetukseen alakoulusta lukioon asti (OPH, 2014, 2019). Kuten luvussa 1 esitetään, tärkeää on hahmottaa tieteellisen tutkimustoiminnan ja kouluopetuksen erot. Kouluopetuksessa tavoitteena on, että oppijat kiinnostuvat biologian ilmiöistä, oppivat rakentamaan biologian tiedonalan käsitteistöä sekä oppivat taitoja hankkia tietoa ja toteuttaa, tulkita ja arvioida pienimuotoisia tutkimuksia.

Tutkimuksellinen lähestymistapa on ollut haastavaa niin aineen- kuin luokanopettajillekin, sillä se vaatii opettajalta ymmärrystä biologian luonteesta luonnontieteenä ja oppiaineena. Opettajat ovat kokeneet, etteivät he tunne luonnontiedekasvatuksen ja luonnontieteellisen tutkimuksen periaatteita, että

kouluissa ei aina ole sopivia tiloja ja välineitä käytettävissä tai että opetussuunnitelmissa ei painoteta tutkimuksellisuutta (Kärnä ym., 2012; van Uum ym., 2016).

Tutkimuksellisen oppimisen perusidea on oppijakeskeisyys (Bybee, 2006; Pedaste ym., 2015). Tutkimuksellista lähestymistapaa voidaan kuvata tarkastelemalla opettajan ja oppijoiden välisen kommunikoinnin luonnetta. Mortimerin ja Scottin (2007) *kommunikatiivisessa mallissa* opetus voi olla *vuorovaikutteista* (interactive), kuten ryhmätyöskentely, tai *vuorovaikutuksetonta* (non-interactive), kuten luento-opetus. Opetus voi olla myös *auktoritatiivista* tai *dialogista*. Lehesvuoren ym. (2011) ja Lehtisen ym. (2017) mukaan opettajan ohjaustapa vaikuttaa ratkaisevasti opetuksen luonteeseen. Auktoritatiivisessa lähestymistavassa opetus perustuu valmiiden selitysten antamiseen. Dialogisessa lähestymistavassa otetaan huomioon oppijoiden kehittämät kysymykset ja oletukset ja niihin pyritään myös vastaamaan. Myös kehoitteet omaehtoiseen ongelman ratkaisemiseen vahvistavat dialogisuutta. Omien käsitysten havaitseminen ja haastaminen on tärkeää polulla, jonka tavoitteena on auttaa oppijoita muuttamaan arkikäsitteisiään tieteelliseen suuntaan (vrt. Luvut 4 ja 7).

Tutkimuksellista oppimista varten on kehitetty pedagogisia toimintamalleja. Tällöin opetuksen suunnittelussa on päätettävä, mikä tavoite toiminnalla on. Tavoitteena voi esimerkiksi olla, että oppijat tutustuvat biologiseen ilmiöön ja sen tutkimiseen opettelemalla tekemään tarkkoja havaintoja ja käyttämään tutkimusvälineitä. Tavoitteena voi myös olla, että oppijat itse kehittävät ideoita omaan tutkimukseensa tai muuhun tiedonhankintaan. Tärkeää on ottaa huomioon opettajan ja oppijan rooli ja se, kuinka paljon toiminta edellyttää opettajan ohjausta (Banchi & Bell, 2008; Bell ym., 2005; Fitzgerald ym., 2019) (Taulukko 2.3).

Banchin ja Bellin (2008) mukaan *todentavassa* (confirmatory) tutkimuksessa oppimisen tavoite on ennakolta määritelty. Oppijat voivat oppia esimerkiksi kalan rakenteesta ensin opettajan esityksen avulla ja tämän jälkeen tarkastella omatoimisesti oikeaa kalaa. Tutkimustehtävä on tällöin etsiä ja nimetä kalan ulko- ja sisärakenteita ohjeen avulla. *Strukturoidussa* (structured) tutkimuksessa opettaja määrittelee jonkin tutkimuskysymyksen ja opastaa välineiden käytössä, mutta oppijoiden vastuu toiminnasta on suurempi kuin todentavassa tutkimuksessa. Tavoitteena on oppia kokemusperäisesti luonnontieteellistä

menetelmätietoa (Krathwohl, 2002) eli tietoa siitä, mitä vaiheita tutkimuksessa on. Esimerkiksi järven eliöstöä tutkittaessa voidaan vastata kysymykseen: Kuinka monta erilaista eläinplanktonlajia järvestä otetusta näytteessä on? Tutkimusta toteutettaessa opitaan ottamaan vedestä planktonnäytteet, säilömään ne, valmistamaan näytteitä eli preparaatteja mikroskopointia varten sekä tunnistamaan ja laskemaan planktonlajeja valomikroskoopin avulla. Opettajajohtoisissa todentavissa ja strukturoiduissa tutkimuksissa tutkimuksen tekeminen ja sen tulokset ovat oppijoille uusia kokemuksia, joten oppijat on hyvä ottaa mukaan toimintaan alusta asti, ei ainoastaan toteuttamaan opettajan suunnitelmaa.

*Taulukko 2.3. Opettajan ohjauksen merkitys tutkimuksellisessa oppimisessä (mukailtu lähteestä Banchi & Bell, 2008; Bell ym., 2005). Opettajan ohjauksen tärkeys on merkitty kirjaimella X. Ohjaus tarvittaessa on merkitty kirjaimella (X).*

<i>Tutkimuksen tyyppi</i>	<i>Tutkimuskysymys Mitä tutkin?</i>	<i>Menetelmä Miten tutkin?</i>	<i>Ratkaisu Millaisia tuloksia sain? Mitä opin?</i>
Todentava, vahvistava	X	X	X
Strukturoitu	X	X	(X)
Ohjattu	X	(X)	(X)
Avoin	(X)	(X)	(X)

*Ohjatussa* (guided) tutkimuksessa opettaja toimii oppijoiden tukena heidän suunnitellessaan ja toteuttaessaan tutkimustaan sovitusta aihepiiristä. Tehävänä voi olla vaikkapa tutkimus, jossa selvitetään liikunnan vaikutuksia ihmisen sydämen sykkeeseen. Ohjatussa tutkimuksessa opetuksen haasteena on, että oppijan tulisi tuntea tutkimisen periaatteita ja omata kokemusta pienimuotoisten tutkimusten tekemisestä. Riippuen oppijaryhmien tarpeista, myös ohjatussa lähestymistavassa opettajan tuki on tärkeää. *Avoimessa* (open) tutkimuksessa oppijat voivat hakea keksimäänsä tutkimuskysymykseen tietoa erilaisista tietolähteistä tai käyttää valmista tutkimusaineistoa. Oppijoiden tutkimuksen tekovaiheita koskevaa vastuuta lisätään oppijoiden tutkimustietojen ja -taitojen kehittymisen mukaisesti. Lopulta oppijat voivat itse vastata kaikista tutkimuksen vaiheista. Tutkimukseen ja sen vaiheisiin voidaan tutustua myös interaktiivisten opetusvideoiden avulla tai toteuttamalla opetusvierailu tutkimuslaitokseen (vrt. Eloranta ym., 2005).

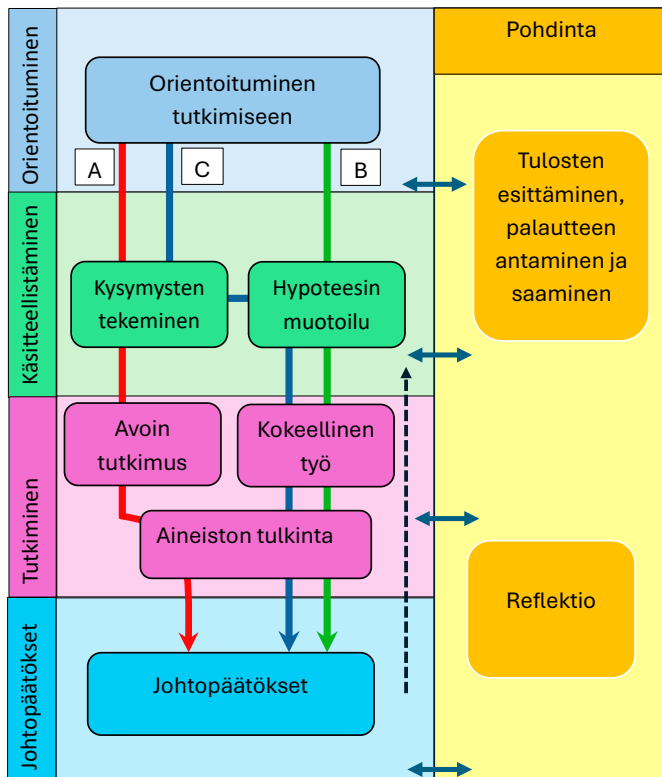
## *Tutkimuksellisen oppimisen polkuja*

Luonnontiedekasvatusta ja -opetusta käsittelevään kirjallisuuskatsaukseen perustuen Pedaste ja muut (2015) ovat koostaneet mallin tutkimuksellisesta lähestymistavasta opetuksessa (Kuvio 2.1). Mallissa on neljä vaihetta; *orientoituminen, käsitteellistäminen, tutkiminen ja päätelmien tekeminen*. Orientoitumisvaiheen tarkoitus on motivoida ja tutustuttaa oppijat tutkittavaan aihepiiriin, joka voi olla esimerkiksi metsäekosysteemi. Käsitteellistämisvaiheessa oppijat tutustuvat aihetta kuvaavaan oppimateriaaliin ja käsitteisiin sekä luovat tutkimuskysymyksen ja mahdollisesti myös hypoteesin. Tutkimusvaiheessa oppijat toteuttavat tutkimuksen ja johtopäätös vaiheessa pohtivat tuloksia. Toiminta ei kuitenkaan ole aina yksisuuntaista, vaan eri vaiheista voidaan palata aiempiin vaiheisiin joko toteuttamaan vaiheita uudelleen tai keskustelemaan niistä. Oleellisinta mallissa on tutkimisen tyyppin (Taulukko 2.3) lisäksi se, painotetaanko tutkimuskysymyksen vai hypoteesin tekemistä vai molempia.

Pedaste ym. (2015) kuvaavat kolmea erilaista tutkimuksen tekemisen tapaa, jotka ovat tietojen syventämiseen ja uusien ideoiden luomiseen soveltuva *kysymyslähtöinen* polku (exploration), orientoitumisesta suoraan hypoteesin johtava *hypoteesilähtöinen* polku (experimentation 1) ja *tutkimuskysymyksestä hypoteesin muodostamiseen ja sen testaamiseen* (experimentation 2) johtava polku (Kuvio 2.1). Riippuen oppilaiden tuen tarpeesta, opettajan ohjausta, tukea ja neuvoja voidaan tarvita kaikissa lähestymistavoissa.

Kysymyslähtöisessä polussa (exploration) oppijat voivat aloittaa prosessin pohdimalla tutkittavaa ilmiötä ja käsitteitä, sekä kehittelemällä avoimia kysymyksiä aiheesta ilman erityistä hypoteesien muotoilua. Oppijat muotoilevat tutkimuskysymyksen itsenäisesti tai pienryhmissä ja toteuttavat pienimuotoisen tutkimuksen tai tiedonkeruun. Tutkimus voi sisältää esimerkiksi tiedon etsintää, havaintojen tekemistä, näytteiden keräämistä niiden tutkimista (A: punainen polku, kuvio 2.1). Oppijat voivat näin itse päättää tai vaikuttaa siihen, mitä asiaa he tutkivat, millaisen tutkimuskysymyksen aiheestaan luovat ja miten toteuttavat pienimuotoisen tutkimuksen. Avoimia kysymyksiä perusopetuksen ympäristöopissa tai biologiassa voisivat olla esimerkiksi, mitä tai millaisia hyönteislajeja lähimetsästä löytyy? Oppijan tutkimuskysymys voisi tarkentua esimerkiksi seuraavanlaiseksi: "Millaisia muurahaiset ovat ja mitä ne puuhaillevat pesässään ja sen ympärillä?" Vastauksena tutkimuskysymykseensä oppi-

ja voi havainnoida muurahaisia, ottaa niistä vaikkapa valokuvia tai videon, ja myöhemmin luokitella havaintoja ja kuvaamaansa materiaalia muurahaisten toiminnasta. Avoimissakin tutkimuksissa tarvitaan usein opettajan ohjausta, sillä aiheen keksiminen ja rajaaminen voi olla oppijalle haasteellista.



Kuvio 2.1. Tutkimuksellisen oppimisen polkuja Pedasten ym. (2015) tutkimusta mukaillen. A) punainen polku: avoin, kysymyslähtöinen tutkimus, B) vihreä polku: tunnettua ilmiötä koskevan hypoteesin testaaminen kokeellisessa tutkimuksessa, C) sininen polku: tutkimuskysymyksestä edetään hypoteesin muodostamiseen ja testaamiseen kokeellisessa tutkimuksessa.

Hypoteesilähtöisessä polussa opetuksen aiheena on johonkin biologian ilmiöön liittyvä ja esimerkiksi kokeellisesti tutkittavissa oleva tapaus (B: vihreä polku, kuvio 2.1), jossa tutkittava ilmiö on jossakin määrin ennalta tunnettu. Ilmiötä voidaan tällöin tutkia esimerkiksi *todentavan* kokeen avulla. Esimerkiksi, jos oppijat tietävät osmoosin periaatteen (hypoteesi), he voivat tutkia solun toiminnan periaatetta ja tehdä ennusteita siitä, miten osmoosi toimii solumallina olevan puoliläpäisevän materiaalin läpi (solumalli, vrt. Uitto ym., n.d.) Tällöin tutkitaan, miten erilaiset sokeriliuospitoisuudet solumallin sisällä ja sen ulkopuolella vaikuttavat solumalliin. Biologian opetuksessa laboratoriossa toteutettavat pienimuotoiset kokeet ja tutkimukset ovat usein luoteeltaan todentavia ja strukturoituja (Taulukko 2.3), sillä tutkiminen vaatii opastuksen tutkimusvälineiden käyttöön ja biologisen tutkimuksen toteuttamiseen.

Tutkimuskysymyksen ja hypoteesin muotoilua painottavassa lähestymistavassa opetuksen tavoitteena on erityisesti oppia biologian kokeellisen tutkimuksen koko prosessi, joten tutkimus painottuu *tutkimuskysymyksen kautta hypoteesin muotoilemiseen ja testaamiseen* (C: sininen polku, kuvio 2.1). Tällöin oppijoiden tulisi pohtia ja suunnitella miten he voisivat tutkia opiskelun kohteena olevaa biologista ilmiötä, esimerkiksi sydämen sykettä ihmisen biologian opintojaksolla. Tässä tapauksessa on tärkeää, että oppijat ymmärtävät tutkittavan ilmiön ja siihen liittyvät käsitteet ennen tutkimusta. Tutkimuskysymyksiä voi tällöin olla esimerkiksi: ”kuinka monta kertaa sydämeni sykkii minuutissa (leposyke), kun istun paikoillani?” ja ”Kuinka paljon eri liikuntamuodot (esim. kävely, juoksu, hyppiminen) nostavat ihmisen sydämen sykettä verrattuna leposykkeeseen?” Tällöin oppijat voivat tutkia sykettä koskevaa tietolähdettä ja esittää sen perusteella hypoteesin sekä ennusteita sydämen sykkeestä, miettiä *koejärjestelyjä* siitä, millä tavalla asiaa voitaisiin parhaiten tutkia, sekä mitata vaikkapa omaa sykettään erilaisissa liikuntaa vaativissa tilanteissa tutkimuskysymykseensä vastatakseen. Tutkimukseen kuuluu oleellisena osana mittausten tekeminen, tulosten koonti, raportointi ja yhteinen pohdinta (vrt. Bybee; Bybee & Landes, 1990). Tutkittavien ilmiöiden tulee kuitenkin niin selkeitä, että kouluopetuksessa niitä on mahdollista tutkia mielekkäällä tavalla oppijoiden lähtökohdat huomioon ottaen. Tällöin opettajan rooli ohjaajana ja oppimisen mahdollistajana korostuu. Opettajan tulee ottaa huomioon oppijoiden tarpeet ja auttaa heitä ideoimaan, tekemään päätöksiä ja toimimaan itsenäisesti. Myös eettiset seikat tulee ottaa huomioon jo ennen opetusta esimerkiksi silloin, kun kaikki oppijat eivät voi toteuttaa toiminnallista

tutkimusta. Tällöin edellä kuvatun tapaiseen, pienimotoiseen tutkimukseen voidaan valita vapaaehtoiset oppijat koehenkilöiksi.

Tutkimusten tekemisen tavoitteena on oppia luonnontieteellistä ajattelua yhteistoiminnallisesti ja kokemusperäisesti. Tutkimuksellisen opetuksen toteuttaminen ei kuitenkaan ole aina yksikertainen asia suunnitella ja toteuttaa, koska toiminnallisena kokonaisuutena se vaatii paljon valmisteluja ja laboratoriossa toimimisen ja erilaisten tutkimusvälineiden ja niiden käytön tunteusta. Suomalaisessa biologian opettajankoulutuksessa Robert Bybeen ym. (2006) kehittämä viisivaiheinen tutkimuksellisen oppimisen malli (5E malli; Engage, Explore, Explain, Elaborate, Evaluate, ks. Bybee & Landes, 1990). on ollut mukana jo 2000-luvun alusta lähtien (vrt. Lappalainen, 2003; Uitto, 2016). Biologian oppikirjoissa biologialle ominaisia todentavia, strukturoituja ja ohjattuja tutkimustehtäviä on käytetty pitkään. Laboratoriotyöskentelyssä tulee myös tuntee turvallisuusasiat ja osata opettaa ne myös oppijoille (Anttalainen & Tulivuori, 2011).

Luonnontiedekasvatuksen ja tutkimuksellisen lähestymistavan lisäksi opetusta ja oppimista koskevassa käsitemaailmassa on kuvattu myös laajempaa *tutkivan oppimisen käsitettä* (vrt. Hakkarainen ym., 2005). Usein käsitteitä tutkiva ja tutkimuksellinen käytetään toistensa synonyymeinä, vaikka tiedonalojen piirteistä johtuen ne voivat olla painotuksiltaan erilaisia. Luonnontieteiden opetuksessa tutkimuksellisen oppimisen lähtökohtana on oppiaineiden tiedonkäsitys, joka perustuu tieteenalan tapaan hankkia empiiristä tietoa tutkittavasta ilmiöstä (vrt. Luku 1). Tutkivan oppimisen avointa lähestymistapaa korostavassa mallissa on tyypillistä, että tutkimus voi alkaa kokonaisvaltaisten ilmiöiden tutkimisesta. Ilmiöt voivat olla luonteeltaan avoimia ja muokkautua oppijan asettamien painopisteiden mukaan (vrt. Hakkarainen ym., 2005). Oppiainekohtainen ilmiön selittäminen voi tulla mukaan silloin, kun tutkittava ilmiö on osin esimerkiksi biologinen. Oppija voi tutkia vaikkapa monialaisen opetuksen aihetta ”Minä ihmisenä” eri oppiaineiden näkökulmia yhdistellen. Kouluopetuksessa avoin tutkiva oppiminen sopii esimerkiksi laaja-alaisten ilmiöiden käsittelyyn, kun oppijat rakentavat uutta ymmärrystä aiemmin oppimansa ja prosessin aikana kerätyn tai luodun tiedon ja taidon pohjalta (Kuisma & Ratinen, 2021).



## 2.3 Biologian kontekstuaalinen osaaminen visiossa 2

### *Biologiaa kaikille*

Biologian tutkimuksella ja tieteenalan ilmiöiden luonteen ymmärtämisellä on oppijoille myös sekä henkilökohtaista että yhteiskunnallista merkitystä (vrt. Taulukko 2.1). Luonnontiedekasvatuksen vision 2 mukaan biologian opetuksen tavoitteena ei ole ainoastaan kehittää oppijoiden biologian tiedonalan tietoja ja taitoja vaan kehittää myös oppijoiden valmiuksia käyttää niitä erilaisissa tilanteissa omassa elämässä ja yhteiskunnan jäsenenä (”science for all”, Aikenhead, 2006). Roberts (2011) mukaan visiossa 2 oppija on itse tiedon selittäjä ja tulkitsejä; tieto liitetään jokapäiväiseen elämään ja johtopäätöksiä tehdään luonnontieteelliseen ja teknologiseen tietoon nojautuen. Tällöin opetuksessa voidaan käsitellä biologian perusteemoja erilaisissa asiayhteyksissä, kuten kestävässä kehityksessä. Aiheet voivat olla monenlaisia, liittyen esimerkiksi ihmisen biologiaan, terveyteen ja sairauksien hoitoon, ruoanvalmistukseen ja ruoan säilyvyyteen tai ekologiaan ja luonnonsuojeluun. Oleellista aiheiden käsittelyssä on kuitenkin kriittinen ajattelu ja biologian osaamisen hyödyntäminen arjen tilanteissa (Puig & Jiménez-Aleixandre, 2022). Perusopetuksessa käsitellään esimerkiksi biotalouden, ekosysteemipalveluiden mahdollisuuksia kestävästä tulevaisuudesta kannalta (OPH, 2014, s. 381). Eliölaajien ja suomalaisten luontotyyppien tuntemus auttaa keskusteluissa luonnon hyötykäytöstä ja toisaalta myös innostaa esimerkiksi luontoliikuntaan (PalMBERG ym., 2019). Lukion opetuksessa voidaan käsitellä bioteknologian saavutuksista (esim. geenien rakenteen ja makromolekyylien käyttäytymisen ja sairauksien molekylaarisen perustan selvittäminen) (vrt. NRC, 1998) sekä biotalouden ja bioteknologian merkityksestä ympäristönsuojelussa, lääketieteissä, kasvien ja eläinten jalostuksessa ja teollisuudessa (vrt. OPH, 2019, s. 240). Näillä keskusteluilla tuetaan vision 2 mukaista biologian käsitteiden ja ilmiöiden ja elollisen ja elottoman luonnon välisten suhteiden ymmärtämistä henkilökohtaisen ja yhteiskunnallisen merkityksen näkökulmasta.

Biologian osaamisen merkityksellisyys (relevance, Stuckey ym., 2013) liittyy myös oppijoiden opinto- ja urasuunnitelmiin sekä perusopetuksessa että lukiossa kun valmistaudutaan tekemään päätöksiä jatkokoulutukseen suuntautumisesta (vrt. Uitto, 2013; Uitto & Kärnä, 2014). Biologian ammattialoja ovat muun muassa tutkimus, opetus, ympäristönsuojelu, terveydenhuolto, maa- ja metsätalous, teollisuus, biotalous, bioteknologia, hallinto ja liike-elämä sekä media.

## *Merkityksellinen tieto luonnontieteellisen osaamisen rakentamisessa*

Suomessa tulkinta kunkin oppiaineen *tiedonalasta* rakentuu toisaalta oppiaineeseen vaikuttavien tieteenalojen ja toisaalta didaktisen ajattelun perustalta (Saari ym., 2017). Nykytutkimuksessa ainedidaktiikan kannalta oleellisena pidetään *oppiainekohtaista merkityksellistä tietoa* (subject-specific educational content knowledge, Hudson ym., 2023). *Merkityksellinen tieto* (powerful knowledge, Young, 2008) liittyy visioiden 2 ja 3 tavoitteisiin, sillä se on luonteeltaan voimaannuttavaa. Sen avulla oppija voi löytää paitsi luotettavia selityksiä maailman ilmiöille, myös uusia tapoja tarkastella maailmaa. Tällöin hän voi oppia toimintatapoja, jotka mahdollistavat osallistumisen yhteiskunnalliseen ja eettiseen keskusteluun (Young, 2008, s. 14). Biologian sisältöalueet kuten ekologia, biodiversiteetti ja evoluutio voivat liittyä luontoarvojen tai ihmisen terveyttä ja hyvinvointia käsitteleviin arvopohdintoihin visiossa 2 (Aivelo & Uitto, 2021; Jönsson, 2016; Sá-Pinto, ym., 2022; Tidemand & Nielsen, 2017; Yli-Panula ym., 2022). Monet aiheet leikkaavat sekä ekologista, sosiaalista että taloudellista kestävyyttä (Jeronen ym., 2024; Uitto & Saloranta, 2017; Yli-Panula ym., 2022). Ekologia liittyy muun muassa maankäyttöön, hyödykkeiden tuotantoon ja kulutukseen, luontokatoon sekä keinoihin, joilla biodiversiteettiä voidaan suojella. Biologian aiheista on polkuja myös sosiaalisen kestävyuden teemoihin, kuten ihmisoikeuksiin ja yhdenvertaisuuteen. Monet aiheet myös vetoavat asenteisiin tai tunteisiin, mikä tulisi ottaa opetuksessa huomioon. Tällaisia sensitiivisiä aiheita voivat olla esimerkiksi ihmisen ja luonnon hyvinvointiin liittyvät aiheet (Ottander & Simon, 2021; Tidemand & Nielsen, 2017) (vrt. Luku 6).

## *Yhteiskunnallis-luonnontieteelliset aiheet biologian opetuksessa*

Luonnontiedekasvatuksen visiossa 2 osaamistavoitteisiin kuuluu myös taito käsitellä ja argumentoida *yhteiskunnallis-luonnontieteellisiä* aiheita (socio-scientific issues, SSI, Sadler, 2004, 2011; suomeksi YLU-aiheet, Yli-Panula ym., 2021a). Nämä aiheet ovat luonteeltaan monimutkaisia ja ne voivat olla kiistanalaisia. Opetuksessa YLU-aiheiden käsittelyn on ajateltu edistävän taitoja soveltaa luonnontieteellistä osaamista, kuten erilaisten näkökulmien ymmärtämistä, päätöksenteossa oleellisia keskustelutaitoja ja väitteiden esittämis- ja perustelutaitoja, tunteisiin liittyviä taitoja asettua toisten ihmisten

tai toisten eliölajien asemaan sekä taitoa pohtia ja eritellä ihmistoimintaa ja sen seurauksia eettiseltä näkökannalta (Sadler & Zeidler, 2005). Biologian osaamisen hyödyntämisessä oleellista on myös ymmärrys biologian luonteesta luonnontieteenä. Tällöin tärkeää on kyky arvioida väitteiden, tiedon hankintatapojen ja lähteiden luotettavuutta.

Biologian opetuksessa on monia sisältöjä, joita voidaan tarkastella YLU-aiheiden näkökulmasta. Näitä ovat muun muassa kokonaisuudet, joissa käsitellään biodiversiteetin heikkenemistä sekä ilmastonmuutosta, maa- ja metsätalouden ympäristövaikutuksia, geeniteknologiaa, eläinkokeita, lääkkeiden ja erilaisten hoitomuotojen käyttöä, epidemioita ja rokotuksia (Tidemand & Nielsen, 2017). Tutkitun tiedon ymmärtämisen merkitys korostuu pandemioiden yhteydessä ja siinä, miten rokotusten merkitys ymmärretään ja miten siitä keskustellaan. Myös ihmisen hyvinvointi, kehitys ja kasvaminen lapsesta aikuiseksi, sukupuoli, seksuaalisuus ja sukupuoli-identiteetti ovat myös teemoja, jotka liittyvät biologian sisältöihin tai sivuavat niitä. Tasa-arvo- ja yhdenvertaisuuskasvatus linkittyvät visiossa 2 ja YLU-aiheissa ihmisen biologian opetukseen. YLU-aiheet voivat olla myös sensitiivisiksi koettuja (vrt. Luku 6), kuten ihmisen terveyteen ja hyvinvointiin liittyvät asiat (Giddings ym., 2002).

Opetussuunnitelmallisesti visio 2 liittyy moniin laaja-alaisen osaamisen kokonaisuuksiin (OPH, 2014, 2019). Esimerkiksi oppiaineita yhdistävässä ruokakasvatuksessa (Risku-Norja ym., 2012) ja koulupuutarhatoiminnassa (Salo, 2016) biologian opetuksen tiede- ja kestävyyskasvatuksen tavoitteet voivat yhdistyä ravintoteemaan, ruoan valintaan, käyttöön ja kulutukseen sekä niitä koskeviin arvoihin ja asenteisiin. Myös opettajakoulutuksella on merkitystä edistettäessä opettajaopiskelijoiden taitoja käyttää YLU-aiheita biologian sisältöjen opettamisessa (Mutanen & Uitto, 2020; Yli-Panula ym., 2021a). Vision 2 mukainen YLU-aiheita käsittelevä opetus voi myös herättää ja vahvistaa oppijoiden kiinnostusta biologian ilmiöitä kohtaan (Uitto, ym., 2006, 2011) ja näin motivoida hakeutumaan opiskelemaan vaikkapa ilmastonmuutokseen, luontokatoon ja virusepidemioihin liittyen ekosysteemiekologiaa, evoluutiobiologiaa ja molekyyli- ja solubiologiaa.

## *Argumentaatiotaidot biologian opetuksessa tiede- ja kestävyyskasvatuksen teemoissa*

Taito pohtia ja muodostaa omia näkemyksiä kiistanalaisista aiheista, perustella niitä tutkittuun tietoon perustuen sekä keskustella tasavertaisesti muiden kanssa on eräs kestävyyskasvatuksen tärkeimmistä tavoitteista toimintakompetenssin saavuttamiseksi (esim. Sjöström & Eilks, 2018, 2020). Verrattuna muiden Pohjoismaiden opetukseen (Jönsson, 2016; Tidemand & Nielsen, 2017) suomalaisessa luonnontiedeopetuksessa ei ole yhtä paljon ja systemaattisesti harjoiteltu esimerkiksi väittelyä työtapana tai *väitteiden esittämistä ja perustelua* eli argumentaatiota. Luonnontiedeopetuksessa keskeinen kehitettävä taito on kyky kuvailla ilmiöitä, esittää niitä koskevia kysymyksiä ja laatia hypoteeseja tutkimusten pohjaksi. Tästä syystä kyky argumentoida (Asterhan & Schwarz, 2016) on keskeinen myös biologian opetuksessa. Argumentoinnissa opitaan perustelemaan omia väitteitä ja tunnistamaan toisen väitteissä tai tekstissä oleva ongelma tai ristiriita.

Filosofiassa argumentointi rinnastetaan usein päättelyyn, jonka ajatellaan olevan argumentointikäytäntöjen sisäistämistä (Mercier, 2018; Mercier & Sperber, 2017). Argumentaatio voi olla puhuttua dialogista argumentaatiota tai kirjoitettua tekstiä (esim. Venville & Dawson, 2010; Özer Keskin ym., 2013). Argumentaation avulla voidaan mallintaa prosesseja ja ilmiöitä, joilla tieteellistä tietoa esitetään, tuetaan, kehitetään ja arvioidaan. Bellandin ym. (2016) mukaan argumentaatio on prosessinomaista johtopäätösten tekemistä loogisen päättelyn avulla, jossa argumentti muodostetaan. Argumentaation perusyksikön muodostaa argumentti eli väite, joka sisältää lähtötiedon, perustelun ja tietystä näkökulmasta esitetyn tosiasiaväitteen (Kneupper, 1978; Toulmin, 1958, suom. Kilpeläinen, 2015). Esimerkkinä *yleistyksestä yksittäistapaukseen* suuntautuvasta eli deduktiivisesta päättelystä on ”kaikki ihmiset ovat eläviä olentoja” – ”kaikki elävät olennot ovat kuolevaisia” ja ”siksi kaikki ihmiset ovat kuolevaisia”. Deduktiivisesti pätevässä väitteessä johtopäätös on totta kaikissa tilanteissa. *Yksittäistapauksesta yleistyksen* suuntautuvat eli induktiiviset argumentit ovat väitteitä, joissa havainnot menneistä tapauksista ja säännönmukaisuuksista johtavat johtopäätöksiin tulevista tapauksista ja yleisistä periaatteista. Havainto, että syksyisin lehtensä pudottaviin kasveihin, vaikkapa mustikkaan tai koivuun, tulee keväisin silmut ja niistä kehittyvät lopulta lehdet, johtaa johtopäätökseen, että joka kevät näille kasveille puhkeavat silmut,

ja yleisperiaatteeseen, että lehtensä karistavien kasvien elämänkierrossa tietyt tapahtumat toistuvat vuodenajoin.

Argumentti vaatii taustatuekseen aina testattavan todisteen tai useita todisteita (Belland ym., 2015), muuten argumentti jää vain mielipiteeksi ilman perusteluita (Gauthier, 2005; Simonneaux & Chouchane, 2011). Argumenttien vahva loogisuus, vankkuus ja ajoitus ovat välttämättömiä mutta eivät riittäviä edellytyksiä argumenttien tehokkuudelle (Tinch ym., 2018). Argumentin ominaisuuksia ovat perusteltavuus ja pätevyys (Bowell & Kingsbury, 2013). Kouluopetuksessa hyvä argumentti sisältää tiedonalan mukaista tietoa ja käsitteitä (Zohar & Nemet, 2002). Lähtökohtana tieteellisessä argumentaatiossa on argumentoijan kyseisen oppiaineen käsitteellinen ymmärrys (Driver ym., 1998) toisin sanoen se, miten hän osaa käyttää vaikkapa biologian käsitteitä argumentoidessaan.

Opetuksessa tulisi harjoitella tiedonalan mukaista argumentaatiota ja siihen liittyvien taitojen kehittämistä (Duschl & Osborne, 2002; Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2007; Feierabend ym., 2012). Visioiden 2 ja 3 mukaiset aiheet ovat usein luonteeltaan kiistanalaisia, ja niissä on arvoasetelmia kuten seuraavissa pohdintatehtävissä: *Miten meriveden lämpenemisen aiheuttamaa korallien haalistumista voitaisiin estää? Arvioi perustellen, miten matkasi Malediiville vaikuttaa koralliriuttoihin.* Päämääränä on kehittää oppijoiden kriittistä ajattelutaitoa ja kykyä esittää perusteltuja näkemyksiä kiistanalaisesta ilmiöstä, kun perusteena käytetään esimerkiksi ekologiaan perustuvia argumentteja. Argumentaatio pohjaa vaihtoehtoisten selitysten punnintaan tai opittavan aineiston tarjoamaan näyttöön eli evidenssiin. Argumentaation harjoittelu tukee ja edistää oppiaineelle ominaisia keskustelutaitoja, tieteellisen kielen ja tyypillisten ajattelumallien, toimintojen ja käsitteiden oppimista sekä käyttöä, kriittistä ratkaisukeskeistä ajattelukykyä ja ongelmanratkaisu- ja päättelykykyä. Argumentaatio tekee näkyväksi oppijalle myös hänen metakognitiiviset ajatteluprosessinsa ja tukee näin yksilön oppimista (Erduran & Jiménez-Aleixandre, 2007). Opetuksellinen argumentointi voi tapahtua erilaisissa oppimisympäristöissä konkreetista luokkahuoneesta aina yhteisölliseen virtuaaliympäristössä tapahtuvaan argumentointiin (Telenius ym., 2020). Luonnontiedeopetuksessa argumentaatiota pidetään avainprosessina ei vain biologisten sisältöjen ja ilmiöiden vaan myös YLU-aiheiden tarkastelussa.

Opetuksen ja oppimisen argumentaatiota on tutkittu tarkastelemalla argumenttien sisältöä (Feierabend ym., 2012), analysoimalla argumenttien rakennetta (Çapkınoğlu & Yilmaz, 2018; Venville & Dawson, 2010) tai niiden laatua ja määrää (Feierabend ym., 2012). Suomessa on käytetty ARRA-analyysiksi kutsuttua menetelmää argumentaation analyysissä (Åhlberg & Kaivola, 2006). On myös selvitetty, miten opettajat yksinkertaistavat ja selventävät opittavaa asiaa argumenteillaan (Conner ym., 2014). Argumentaation prosessiluonteen vuoksi tutkimuksissa ei oteta huomioon vain yksittäisiä argumentteja, vaan myös niiden liittyminen toisiinsa. Keskeisenä onkin pidetty argumenttien muodostaman jatkumon todentamista (Feierabend ym., 2012; Knippels ym., 2009). Biologian opetuksessa ekologian sisältöalueisiin ja niiden YLU-aiheisiin kohdentuvia argumentaatiotutkimuksia ovat esimerkiksi ilmastonmuutokseen (Feierabend ym., 2012) ja lepakoiden biodiversiteetin suojeluun liittyvä tutkimus (Lee & Grace, 2010) sekä Itämeren eliöiden muodostamiin ravintoketjuihin liittyvät argumentatiiviset keskustelut (Telenius ym., 2020). Opetuksessa tehtävyyteistä väitetehtävät tukevat parhaiten laadukasta argumentointia, sillä ne johdattelevat vastaajaa käyttämään argumentteja kysymysten sijaan, ja ne tukevat myös sisällön argumentatiivista tarkastelua (Toulmin, 1958, suom. Kilpeläinen, 2015). Argumentatiiviset roolit tukevat näkemyksen muodostusta, kriittistä ajattelua ja argumentaatiotaitoja (Agell ym., 2015). Ilmiön tekeminen ymmärrettäväksi, selityksen luominen, perustelemineen sekä pätevyyden osoittaminen eli *validointi* ja oman väitteen hyväksyttävyyden arviointi ovatkin niitä argumentaatioketjun kohtia, joissa opettajaopiskelijat ja lukiolaiset tarvitsevat tukea (Yli-Panula ym., 2021a).

Oppijoiden argumentaatiotaitoja on kartoitettu myös suhteessa erilaisiin opetusmenetelmiin kuten roolipelien, kenttäretkien, draaman, luokka- ja ryhmäkeskustelujen avulla oppimiseen ja myös itsenäiseen aineistoon perehtymiseen ja kirjoitustehtäviin. Oppijakeskeisten opetusmenetelmien on todettu tukevan argumentointitaitoja. Argumentaatiotutkimukseen kuuluvat läheisesti myös oppiaineen käsitteet ja etenkin niiden käyttö. Opetusta koskevassa argumentaation tutkimuksessa tulisi tarkastella myös sitä, miten esimerkiksi käsitteiden esittämisen järjestystä, abstraktiotasoa, visuaalisia esitysmuotoja ja malleja kuten kuvia, kuvioita, taulukoita sekä videoita käytetään edistämään oppijoiden käsitteiden ymmärtämistä ja kokonaiskäsitysten rakentamista (ks. Luku 4).

## *Biodiversiteetti ja sen suojele argumentatiivisen opetuksen aiheena*

YK:n ympäristöohjelman biodiversiteettiä koskevassa yleissopimuksessa biodiversiteetti määritellään ”elämän monimuotoisuudeksi” ja tarkemmin määriteltynä sillä viitataan ”elävien organismien monimuotoisuuteen, mukaan lukien muun muassa maa-, meri- ja muut vesiekosysteemit ja ekologiset kokonaisuudet, joihin ne kuuluvat” (Convention on Biological Diversity [CBD], 1992, 2022). Biodiversiteetti sisältää eliölajien sisäisen eli geneettisen, eliölajien välisen eli niiden runsauden, ja ekosysteemien tai elinympäristöjen monimuotoisuuden. Biodiversiteetti on uhattuna, koska se on vähenemässä maailmalla maailmassa ihmisen toiminnan, erityisesti ylikulutuksen ja eliöiden elinympäristöissä tapahtuvien muutosten, esimerkiksi niiden tuhoutumisen, saastumisen ja eksoottisten eliölajien käyttöönoton seurauksena (Hooper ym., 2005; Trombulak ym., 2004). Biodiversiteetikato on yksi vakavimmista kestävä kehityksen haasteista (Rockström ym., 2009; Steffen ym., 2015). Täten se on myös yksi tärkeimmistä aiheista biologian opetuksessa ja kestävyyskasvatuksessa. Normatiivisena suojele suunnitelmana biodiversiteetin säilyttäminen soveltuu aiheeksi kestävyyskasvatukseen, koska se heijastaa ekologisen, taloudellisten ja sosiaalisten kysymysten vuorovaikutusta (Menzel & Bögeholz, 2009) ja vaatii oppijalta erilaisten näkökulmien huomioon ottamista mielipiteiden muodostamiseksi (Gayford, 2000).

Biodiversiteettiä koskevassa yleissopimuksessa korostettiin jo vuonna 1992 biologista monimuotoisuutta kestävä kehityksen indikaattorina ja tunnustettiin, että viestintä, koulutus ja yleinen tietoisuus ovat tärkeitä yleissopimuksen tavoitteiden tehokkaan ja menestyksellisen täytäntöönpanon kannalta (CBD, 1992, 2002; World Resources Institute, The World Conservation Union and United Nations Environment Programme [WRI, IUCN and UNEP], 1992). YK:n biodiversiteettisopimuksen osapuolten 15. kokouksessa (UN, 2022) painotettiin tavoitteita, joiden avulla luontokato pysäytetään ja pyritään kohti luontomyönteisyyttä. Ihmisten motivaatio kohdata biodiversiteetin vähentämisen aiheuttamia haasteita ajatellaan riippuvan toisaalta taloudellisista hyöty-näkökulmista, kuten biodiversiteetin merkityksestä uusien lääkeaineiden löytämisessä tai ekomatkailun perusteena, ja toisaalta markkina-arvoihin kuulumattomista seikoista, kuten tieteellisistä, luonnonsuojelullisista ja muista eettisistä tai esteettisistä arvoista, joita biodiversiteetille annetaan (Hooper ym., 2005). Edellä mainitut arvot eivät välttämättä sulje toisiaan pois, vaan painotukset voivat vaihdella esimerkiksi yhteiskunnallisten ja kulttuuristen

seikkojen takia, mikä tulisi ottaa huomioon myös biodiversiteetin säilyttämisessä (Trombulak ym., 2004).

Biodiversiteetin tilaa ja ekosysteemipalvelujen saatavuutta tutkitaan ja arvioidaan käyttämällä monenlaisia ekologisia ja taloustieteellisiä laskentamenetelmiä eli mittareita (measures), jotka tuottavat esimerkiksi luonnon monimuotoisuutta ilmentäviä diversiteetti-indeksejä ja toisaalta luonnosta ekosysteemipalveluina saatavan aineellisen hyödyn tunnuslukuja. Brittiläinen taloustieteilijä Partha Dasgupta (2021) on selvittänyt raportissaan, että taloudelliset mittarit, kuten BKT (bruttokansatuote), eivät riitä kuvaamaan hyvinvointia, koska ne eivät ota huomioon luonnonvarojen kulutusta ja ympäristön tilaa. Dasgupta määrittelee, että *luonnon pääoma* (natural capital) tulee sisällyttää taloudellisiin mittareihin, jotta biodiversiteetin merkitys ihmisten hyvinvoinnille ymmärretään.

Dasgupta arvioi myös ihmisen roolia biodiversiteetin tuhoajana ja säilyttäjänä. Hänen mukaansa ihmisen toiminta on perustunut taloudelliseen hyötynäkökulmaan, eikä luonnon tuhoamisella ole ymmärretty olevan myös ihmisen elinolosuhteita heikentävää vaikutusta. Vasta raportit ilmastonmuutoksesta johtuvista biodiversiteettiä ja ihmisen elinympäristöä uhkaavista ympäristömuutoksista ovat herättäneet maailmanlaajuisen liikkeen biodiversiteetin suojelemiseksi. Esimerkiksi Steffenin ym. (2015) ja Wang-Erlandssonin ym. (2022) mittarit perustuvat ympäristön tilan ja ihmisen toiminnan vaikutusten arviointiin. Havainnot ovat osoittaneet, että kestävyuden *planetaariset rajat* on jo ylitetty monelta osin. Planetaariset rajat ovat raja-arvoja, jotka määrittelevät ihmiskunnalle turvallisen toiminta-alueen Maa-planeetan biologisten ja fyysikaalisten järjestelmien puitteissa (Rockström ym., 2009). Biodiversiteetin tilannetta ilmaisevat tunnusluvut ovat osoittaneet, että turvallinen toiminta-alue on ylitetty ja biodiversiteetti on heikkenemässä (vrt. Luku 5).

Dasgupta (2021) käytti raportissaan taloustieteen käsitteistöä kuvatessaan luonnon monimuotoisuutta ja ekosysteemipalveluja taloudellisena pääomana. Hän osoitti, kuinka tärkeää talouselämän ratkaisussa on ottaa huomioon biodiversiteetin arvo pääomana. Mikäli tätä pääomaa ei hoideta, vaan se päästetään heikkenemään muiden taloudellisten painotusten kustannuksella, seuraukset niin biodiversiteetille, taloudelle kuin ihmisille ovat tuhoisat. Dasgupta myös osoitti, että ekologiisiin ja taloustieteellisiin mittareihin liittyvät määritelmät, oletukset ja arvot ovat hyvin erilaisia ja keskenään kiistanalaisia,



mikä aiheuttaa haasteita sekä biodiversiteetin suojelulle että sitä koskevalle kasvatukselle ja opetukselle (Dasgupta, 2021; Gayford, 2000; Trombulak ym., 2004). Biodiversiteettiopetuksessa voidaan esimerkiksi pohtia, *kenen etua tietyn mittarin käyttö palvelee*. Kiistanalaisuudesta esimerkkinä voisi olla maatalousympäristöistä taantunut peltosirkku; kun asiaa katsotaan ihmisen tai peltosirkun kannalta argumentit ovat varsin erilaisia.

Biodiversiteetin suojelemisen tärkeyden ymmärtäminen ja ympäristövastuullisuuden herättäminen ovat keskeisiä tavoitteita biodiversiteettiopetuksessa. Argumentatiivinen lähestymistapa sopii biodiversiteettiopetukseen, sillä siinä monimuotoisuutta koskevia tietoja ja arvoja pohditaan ja perustellaan monista näkökulmista. Opetuksellisesti biodiversiteetin suojelua voidaan pitää monitieteisenä aihekokonaisuutena (Gayford, 2000). Biodiversiteettiin liittyvät erilaiset ja ristiriitaiset näkemykset vaikuttavat näkemyksiä perustelemaan argumentointiin biodiversiteetin suojelemisen merkityksistä puolesta ja vastaan: *Kannattaako metsiä suojella vai hakata niitä sellun valmistamiseksi taloudellisen hyödyn näkökulmasta? Kannattaako tonnikalan kalastusta rajoittaa vai antaa sen jatkua kalastajien elinkeinon ylläpitämiseksi ja tonnikalan kysyntään vastaamiseksi?* (vrt. Luku 6, Taulukko 6.1).

Opetuksessa biodiversiteetin hyödyntämisestä ja luonnon monimuotoisuuden ja luonnon tilaa ilmentävistä mittareista voidaan keskustella monin tavoin (Lindemann-Matthies ym., 2009). Esimerkiksi aiemmin mainittua Dasguptan (2021) tutkimusta voidaan hyödyntää, kun keskustellaan biodiversiteetin arvottamisesta ekologisena ja taloudellisena pääomana.

Biodiversiteettikasvatukseen liittyy myös elollisen luonnon kulttuuristen ja sosiaalisten merkitysten kokonaisvaltainen huomioon ottaminen. Tämä näkökulma voi poiketa huomattavastikin perinteisestä länsimaisesta teknologia-painotteisesta luonnontiedekasvatuksesta (Zindy ym., 2020). Esimerkiksi *alkuperäiskansojen luonnontuntemus, luontoarvot ja luontosuhde* (indigenous knowledge) ovat kokemuseräistä ja perittyä tietoa paikallisista elinympäristöistä ja monin tavoin yhtäläistä ja arvokasta luonnontieteellisen tiedon, tutkimuksen ja opetuksen kannalta (Zindy ym., 2020). Biologian opetuksen kannalta on kiinnostavaa, että alkuperäiskansojen luonnontuntemus liittyy muun muassa luonnon syklien, ekologisten olosuhteisen ja lajiston tuntemukseen ja arvostamiseen sekä siihen, miten esimerkiksi eloperäistä materiaalia voidaan hyödyntää. Aiheet ovat samoja, jotka yhdistävät kestävyyskasvatuksen koulu-

opetukseen (vrt. OPH, 2014, 2019, UNESCO, 2017). Biodiversiteettiopetuksessa oppijoiden oman kulttuurisen taustan ja luonnon merkityksen huomioon ottaminen onkin tärkeää. Yhdelle oppijalle elollinen luonto voi merkitä puistoja tai urbaanin lajiston satunnaista havaitsemista, toiselle esimerkiksi harrastuksiin liittyvää erilaisten luonnonympäristöjen ja lajien tuntemusta (vrt. Luku 8).

Biodiversiteettiopetuksessa tulevat esille myös erilaiset arvot, asenteet ja tunteet, kun keskustellaan biodiversiteetin ja siihen liittyvien ekosysteemipalvelujen heikkenemisen vaikutuksista ihmisten terveyteen, elintarviketurvaan, ekosysteemien haavoittuvuuteen sekä ihmisen aineellisen vaurauteen. Tällöin argumentoinnissa on otettava huomioon toisaalta ekologinen kestävyys biodiversiteetin heikkenemisenä ja toisaalta sosiaalinen ja taloudellinen kestävyys, jos biodiversiteettikato uhkaa johtaa ihmisten elinolojen heikentymiseen. Ekosysteemien moninaisuutta ja luontoympäristöjä arvostetaan myös niiden esteettisten, virkistysarvojen tai henkisten arvojen vuoksi. Biodiversiteettiopetuksen keskeisiä tavoitteita ovat kriittisen tiedon rakentaminen sekä tulevaisuusajattelun ja sellaisen ymmärryksen tukeminen, joka koskee erilaisia näkemyksiä biodiversiteetin arvosta, eduista ja suojelun tarpeellisuudesta. Lisäksi tarvitaan sopivia pedagogisia puitteita, jotka motivoivat keskusteluun ja argumentointiin sekä mahdollistavat biodiversiteetin merkityksen reflektoinnin argumentoivassa keskustelussa (Gayford, 2000; Kyburz-Graber ym., 2006).

Argumentoinnin eräs työtapana on *väittely* (Kurki & Tomperi, 2011), jonka toteutumista opettaja ja oppijat voivat yhdessä arvioida antamalla palautetta argumentoinnista. Opetukseen voi kuulua esimerkiksi luontokatoa käsittelevän dokumentin seuraaminen. Dokumentin väittelytilanteiden seuraaminen ja argumenttien pätevyyden pohdinta biodiversiteetin suojeluun liittyvissä aiheissa voi olla myös käyttökelpoinen tapa argumenttien ja vasta-argumenttien punnitsemiseksi. Oppijat voivat esimerkiksi aluksi pohtia ja kirjata ylös biodiversiteettiä uhkaavia ja sen säilymistä edistäviä seikkoja. Seuraavaksi he voivat kehittää argumentteja biodiversiteetin suojelun puolesta tilanteessa, jossa esitetään biodiversiteetin säilyttämisen tarpeellisuutta kritisoiwa väite.

Eggertin ja Bögehölzin (2006) *arviointikompetenssin* metamalliin pohjaten (Taulukko 2.4, vrt. Yli-Panula ym., 2021a) voidaan oppijoiden kanssa harjoitella argumentointia visioiden 1–3 mukaisessa opetuksessa, kun arviointi ja päätöksenteko ovat kestävään kehitykseen liittyviä aihealueita opetuksessa.

Arviointiosaamisen metamallissa on kolme eri visioihin liittyvää vaihetta. Harjoitus esittää kuvitteellista tilannetta, jossa pohditaan jokialueen rakentamisen vaikutuksia erilaisissa toimintavaihtoehtoissa.

Taulukon 2.4 harjoituksessa oppijat tarvitsevat tietoa alueen luonnontilasta ja rakennetusta ympäristöstä sekä rakentamisen ekologisista, sosiaalisista ja taloudellisista vaikutuksista arvioidessaan rakentamisen vaihtoehtoja (vrt. viisiot 1 ja 2). *Esivalintavaiheessa* tunnistetaan päätöksentekoa vaativa tilanne ja suunnitellaan, mitä asioita päätöksentekoon otetaan mukaan (Taulukko 2.4; esivalinta, metamalli ja kohdat A ja B).

*Valintavaiheessa* oppijat kehittelevät päätöksenteko- ja arviointiprosessiaan sekä pohtivat toimenpidevaihtoehtoja (a, b ja c). *Jälkivalintavaiheessa* oppijat valitsevat ja perustelevat kehittämänsä jokiympäristön käyttösuunnitelman. Harjoituksen lopussa oppijat pohtivat, miten jokiympäristöä koskevaan päätöksentekoon voi vaikuttaa (visio 3, oppijoiden toimintakompetenssin tukeminen). He pohtivat myös affektiivisten tekijöiden, kuten arvojen, asenteiden, luontosuhteen sekä hyvinvoinnin merkitystä omalta kohdaltaan, yhteisön näkökulmasta ja yhteiskunnallisena ratkaisuna. Lisäksi he voivat arvioida omia tai pienryhmän argumentointitaitoja.

Taulukossa 2.4 olevien sisältöjen ja ajattelutaitojen osaamista voidaan arvioida lukio-opetuksen suositusten mukaisesti moduulikohtaisia tavoitteita ja sisältöjä painottaen. Arvioinnissa keskeisiä kohteita ovat tällöin tietojen ja taitojen lisäksi ajattelu-, argumentointi- ja tutkimustaidot, mukaan lukien taito arvioida tietoa kriittisesti. Yleisesti arvioinnissa otetaan huomioon opiskelijan kyky ymmärtää, soveltaa, analysoida, arvioida sekä esittää biologista tietoa erilaisissa tilanteissa (OPH, 2019). Taulukossa 2.4 esitetyn mallin mukaisesti oppijat voivat perehtyä argumentoinnin periaatteisiin ja harjoittaa sekä arvioida argumentointitaitojaan esimerkiksi ARRA-menetelmän avulla (Härmä, 2021; Härmä ym., 2021; Åhlberg & Kaivola, 2006). Taulukon 2.4 harjoituksessa on kohtia, joissa voi pysähtyä pohtimaan argumentoinnin laatua esimerkiksi harjoituksen aikana tehdyistä kirjallisista tuotoksista. Esivalinnan kohdalla argumentointi on tietopohjaista, kun taas päätöksenteon kohdalla otetaan huomioon arvot, asenteet ja toiveet. Implementaatiossa tehdään johtopäätös toiminnasta, jossa painottuvat toteutettavan päätöksen taloudelliset vaikutukset, ympäristövaikutukset ja vaikutukset ihmisiin.

*Taulukko 2.4. Kestävän kehityksen arviointiharjoitus Eggertin ja Bögehölzin (2006) arviointikompetenssin metamallin pohjalta (vrt. Yli-Panula ym., 2021a). V = tiedekasvatuksen visiot 1–3.*

Vaihe	Päätöksenteon metamalli	A) Päätöksenteko konkretisoituu kestävän kehityksen suunnittelutehtäviin	B) Päätöksenteko ja tehtäväesimerkit
<b>Esivalinta VI ja V2</b>	<i>Päätöksentekotilanteen tunnistaminen</i>	Päätöksentekoon tarvittavien tietojen ja taitojen sekä niiden käyttömahdollisuuksien kerrittyminen	Päätöksenteossa hyödynnetään kerrytettyjä tietoja sekä niiden käyttömahdollisuuksia
<b>Valinta VI ja V2</b>	<i>Arviointi ja päätöksenteko</i>	<b>Arviointi ja päätöksenteko</b>	<b>Arviointi ja päätöksenteko</b>
	<i>Päätöksentekoprosessien kehittäminen</i>	Asiatietojen vertaaminen ottaen huomioon: omat toiveet ja muiden toiveet, yhteisön ja yhteiskunnan toiveet ja normit	Asiatietojen vertaaminen ottaen huomioon: 1) kaikkien tahojen toiveet, 2) arvot 3) normit
	<i>Arviointiprosessi</i>	Arviointivaihtoehtojen ja päätöksentekostrategioiden käytön suunnittelu	Arviointivaihtoehtojen ja päätöksentekostrategioiden käyttö
	<i>Toimenpideaikomusten muotoileminen (a, b ja c)</i>	Reflektio, esimerkiksi miten arviointiprosessien ja päätöksentekostrategioiden arviointi on järjestetty	Mahdolliset reflektiokysymykset: toiveiden toteutuminen; kriteerien tärkeys; valitun toimenpiteen tyydyttävyyden kaikkien osapuolten kannalta
<b>Jälki-valinta V3</b>	<i>Implementaatio valitulle toiminnalle</i>	<i>Implementaatio valitulle toimintamahdollisuudelle</i>	<i>Implementaatio mahdollisuuksiin a, b tai c</i>

## 2.4 Biologian osaaminen kestävyiden edistämiseksi visiossa 3

### *Kriittinen sivistyskäsitys luonnontiede- ja kestävyyskasvatuksen lähtökohtana*

Yhteiskuntien toiminta perustuu toisiinsa liittyviin järjestelmiin, joissa luonnonvarojen käytön avulla tuotetaan hyödykkeitä ja palveluja. Järjestelmät vaikuttavat toisiinsa tuottaen ennalta arvaamattomia kestävyysaasteita. *Kestävyystiede* (sustainability science, Halonen ym., 2022; Nagatsu ym., 2020) on tieteidenvälinen tutkimusala, jossa tutkimuksen kohteena ovat ekologiset, tekniset ja sosiaaliset järjestelmät ja niiden vuorovaikutukset. Tavoitteena on tutkimukseen perustuen tuottaa ongelmakohtiin pureutuvaa tietoa yhteiskunnallista päätöksentekoa ja toimintaa varten laaja-alaisen ”viheliäisten” (wicked) kestävyysongelmien ratkaisemiseksi ja kestävä kehityksen turvaamiseksi (Andersson, 2022). Oleellista ongelmien ja ratkaisujen arvioinnissa sekä toimintasuunnitelmien tekemisessä on systeeminen lähestymistapa (Soini, 2017).

Kuten luvussa 2 todetaan, luonnontiedeopetuksen visio 3 käsittelee erityisesti kestävyyskasvatuksen tavoitteita. Kestävyyskasvatuksen teoriataustassa viitataan usein pohjoiseurooppalaiseen Bildung-sivistystraditioon, joka painottaa oppijan kokonaisvaltaista kasvua autonomiseksi henkilöksi, joka pystyy ajattelemaan kriittisesti ja toimimaan vastuullisesti ja demokraattisesti yhteiskunnan jäsenenä (esim. Sjöström ym., 2017; Sjöströmin & Eilks, 2018, 2020). Bildung-sivistysteoriaa ovat aikanaan kehittäneet useat eurooppalaiset filosofit ja kasvatusteoreetikot (ks. Autio, 2017; Sjöström ym., 2017). Saksalaisen kasvatustieteilijän Wolfgang Klafkin (2000) määritelmän mukaan Bildung-traditio on myös *kriittis-konstruktivisen didaktiikan* perusta, joka korostaa opetuksen huolellista suunnittelua ja jossa otetaan sisältöjen lisäksi huomioon erityisesti oppimisen laajemmat merkitykset oppijan älyllisen, moraalisen ja kulttuurisen kasvun ja kehittymisen kannalta. Bildung-traditiossa myös tieteenalaa ja didaktiikkaa yhdistävällä ainedidaktiikalla on tärkeä asema (mm. Kansanen, 2009). Suomessa Bildung-sivistysteoria on ollut kouludidaktiikan perusta, mutta suomalaisessa sivistysajattelussa vaikuttaa myös Johan Wilhelm Snellmanin ajattelu demokratian ja vapauden merkityksestä koulutuksessa (Autio, 2017). Bildung-tradition lisäksi suomalaisen opetussuunnitelma-ajatteluun on vaikuttanut myös angloamerikkalainen curriculum-traditio (Saari ym., 2017). Bildung-traditiossa korostetaan opettajien autonomiaa ja kulttuurista

ymmärtämistä sen historiallisessa ja poliittisessa viitekehityksessä, kun taas curriculum-traditiossa painotetaan enemmän opetusmenetelmien ja oppijoiden osaamisen arviointia ja oppimistavoitteiden tarkkaa määrittelyä.

Sjöströmin ym. (2017) ja Sjöströmin ja Eilksin (2018, 2020) mukaan luonnontiedekasvatuksen ja kestävyyskasvatuksen yhdistelmänä visio 3 perustuu Bildung-traditioon ja sen mukaisesti *kriittis-refleksiiviseen* sivistyskäsitteeseen. Tämä näkökulma painottaa kriittisen ajattelun lisäksi refleksiivistä ajattelua, jossa oppija tarkastelee ja arvioi ajatteluprosessejaan ja oppimiskokemuksiinsa suhteessa kestäväan kehitykseen. Näkökulma korostaa myös emansipaatiota ja yhteiskunnallista oikeudenmukaisuutta ja liittyy transformatiiviseen oppimiseen (Mezirow, 1997) esimerkiksi kestävyysmurroksen edistämiseksi (Sterling ym., 2018). Sjöströmin ja Eilksin (2018) mukaan kriittis-refleksiivinen sivistyskäsite on samansuuntainen *toimintakompetenssin* kanssa (action competence, Jensen & Schnack, 1997). Toimintakompetenssi on Jensenin ja Schnackin (1997) mukaan ympäristö- ja kestävyyskasvatuksen tärkein päämäärä. Ympäristökasvatuksessa toimintakompetenssi on määritetty kyvyksi toimia aktiivisesti ympäristöongelmien ratkaisemiseksi (Jensen & Schnack, 1997). Mogensenin ja Schnackin (2010) mukaan toimintakompetenssi tarkoittaa Bildung-traditioon liittyvän sivistyskäsitteen mukaisesti *opetuksellista ideaalia*, ei varsinaisesti tiettyä ja määriteltävissä olevaa henkilökohtaista kykyä. Tämän ajattelutavan mukaan toimintakompetenssi on osa jokaiselle kansalaiselle kuuluvaa ja saavutettavissa olevaa sivistystä.

Toimintakompetenssin ymmärtäminen sivistykseen (Bildung) liittyvänä yläkäsitteenä on aiheuttanut sekaannusta kestäväan kehityksen kasvatuksen tutkimuksessa (Shephard ym., 2019), muun muassa siksi, että englannin kielestä tuleva käsite ”competence” ei ole monikollinen, vaikka sitä onkin käytetty kuvaamaan myös henkilökohtaisia kompetensseja (competency, competencies). Mogensenin ja Schnackin (2010) mukaan kestävyyskasvatukselle on ominaista *toimintaorientoitunut opetus ja oppiminen* (action-oriented teaching and learning), jonka avulla voidaan tukea oppijoita omaksumaan yhdenvertaisesti tietoja, taitoja, luottamusta ja halukkuutta toimia kestäväällä tavalla yhdessä muiden kanssa. Vaikka toimintakompetenssi on alun perin sivistyksellisiin oppimistavoitteisiin liittyvä käsite, siihen on viitattu myös yksilöiden toimintaan liittyvässä merkityksessä; esimerkiksi Sass ym. (2020; 2023a, b) kuvaavat toimintakompetenssin käsitettä sivistysteoreettisen näkemyksen ja psykologian tieteenalan käsitteistön avulla tutkiessaan oppijoiden kestävyystaitoja

kouluopetuksessa. Toimintakompetenssi-käsitettä on käytetty myös luonnontiedekasvatusta ja kestävän kehityksen kasvatusta yhdistävässä tutkimuksessa ja se kohdistuu usein kouluopetukseen ja sen todellisiin opetustapahtumiin (Uitto, painossa).

### *Ympäristökasvatuksesta kestävyyskasvatukseen*

Kestävyyskasvatuksen tutkimus pyrkii tuottamaan tietoa, jota voidaan käyttää kestävyysasteiden kohtaamiseksi ja ratkaisemiseksi kasvatuksen ja opetuksen näkökulmista. Käsitteet kasvatuksesta, ympäristön suojelusta ja kestävästä kehityksestä ovat kuitenkin muuttuneet vuosikymmenien kuluessa. Tyypillistä on monien teoreettisten määritelmien päällekkäisyys ja kontekstisidonnaisuus (vrt. Taulukko 2.5a, b).

Luonnonsuojelun tarpeellisuuteen havahduttiin 1950-luvulla teollistumisen myötä kasvavien ympäristöongelmien vuoksi. Aktiivisen luonnonsuojelutoiminnan sytytti amerikkalaisen biologin Rachel Carsonin (1962) kirja *Silent Spring* (*Äänetön kevät*, suom. Jotuni), joka osoitti hyönteis- ja rikkaruohomyrkköjen aiheuttamat uhat elolliselle luonnolle ja ihmiselle itselleen. Myös tulevaisuustutkimuksen keskustelufoorumin Rooman klubin teoksessa *The Limits of Growth* (Meadows ym., 1972) (suom. Kasvun rajat) tarkasteltiin maapallon kantokyvyn ja luonnonvarojen riittävyyden uhkatekijöitä ekologisena, sosiaalisena ja taloudellisena ongelmavyöhytenä. Luonnonsuojelu-termiä käytettiin yleisesti vielä 1960-luvulla, kun tarkoitettiin luonnonympäristön suojelua ja sitä koskevia toimenpiteitä. Ympäristönsuojelusta alettiin puhua 1970-luvulla, kun korostettiin erityisesti ihmisten toiminnan aiheuttamien haitallisten vaikutusten vähentämistä ympäristössä. Muutos korosti kokonaisvaltaisempaa lähestymistapaa ympäristön suojeluun (Berninger ym., 1996).

Samoihin aikoihin ”ympäristönsuojelu”-termin kanssa alettiin käyttää ”ympäristökasvatus”-termiä. Ympäristökasvatuksessa korostetaan ekosentristä ja ekosysteemistä lähestymistapaa. Ekosentrisessä lähestymistavassa painottuvat luontokeskeiset arvot ihmiskeskeisten arvojen sijaan (Orr, 1994). Ekosysteeminen lähestymistapa puolestaan on kokonaisvaltainen prosessi biologista monimuotoisuutta koskevan yleissopimuksen tavoitteiden integroimiseksi ja toteuttamiseksi tasapainoisella tavalla. Lähestymistavan ytimessä on biologisen monimuotoisuuden säilyttäminen ja kestävä käyttö sekä hyötyjen tasapuoli-

nen jakaminen (Epstein, 2016). Päätöksenteon tulee siis perustua tieteelliseen ymmärrykseen ympäristöstä eli siihen, että ekosysteemi on toiminnallinen kokonaisuus, jossa elävät organismit ovat vuorovaikutuksessa keskenään ja fyysisen ympäristönsä kanssa muodostaen dynaamisen, mutta pitkälti vakaan järjestelmän (Orr, 1994). Molempien lähestymistapojen mukaan ihmisellä on velvollisuus korjata aiheuttamansa ympäristövauriot.

Pohjoismaissa herättiin ympäristökasvatuksen tarpeellisuuteen viimeistään 1970-luvulla. Tanskassa vallitsevaa ympäristökasvatusta haluttiin uudistaa. Uudistetussa näkemyksessä suhtauduttiin kriittisesti erityisesti luonnontieteellistä näkökulmaa kohtaan, koska sen ajateltiin käsittelevän ainoastaan ympäristöongelmia jättäen opettajat ja oppijat passiiviseen rooliin vailla vaikuttamismahdollisuuksia. Breiting ja Wickenberg (2010) ovat kuvanneet Bildung-traditioon perustuvan toimintakompetenssin määritelmän syntyä ja käyttöönottoa Pohjoismaissa 1980-luvusta lähtien.

Suomessa ympäristökasvatuksen aktiivinen kehittäminen aloitettiin 1980-luvulla ja valtakunnallisiin opetussuunnitelmiin se otettiin vuonna 1985. Ympäristökasvatus ymmärrettiin aluksi luonnon- ja ympäristönsuojelun pohjalle rakentuneena ekologiapainotteisena, erityisesti biologian opetukseen kuuluvana aiheena (Matikainen, 1995). Vuonna 1992 Suomen UNESCO-toimikunnassa laadittiin raportti, jossa korostettiin ympäristökasvatuksen roolia kaikilla koulutuksen tasoilla. Tämä raportti määritteli suuntaviivat suomalaiselle ympäristökasvatukselle (Wolff, 2004). Ympäristökasvatus-termin rinnalla alettiin käyttää kestävän kehityksen kasvatuksen (Education for sustainable development, ESD) käsitettä 1980-luvun lopulla. Tällöin YK:n komissio määritteli kestävän kehityksen sosiaaliseksi, taloudelliseksi, ympäristölliseksi ja kulttuuriseksi kehitykseksi, joka ei vaaranna tulevien sukupolvien oikeutta omaan kehitykseensä (Brundtlandin Komissio, 1987).

Nykyisissä opetussuunnitelmissa kestävyysteemat sisältyvät eri oppiaineisiin ja laaja-alaisiin oppimiskokonaisuuksiin. Opetussuunnitelmissa mainitaan ekososiaalinen sivistys, kestävä kehitys ja kestävä tulevaisuus, elämäntavat, toiminta ja valinnat. Ekososiaalisen sivistyskäsitteen mukaan ihmisen hyvää elämää tulee tavoitella ekologisen kestävyuden rajoissa tunnustaen ekologisen, sosiaalisen ja taloudellisen todellisuuden välinen riippuvuus (Salonen & Bardy, 2015) ja korostaen *vahvan kestävyuden* ajatusta. Vahvan kestävyuden mukaan peruuttamattomia ympäristövarojen menetyksiä tulee välttää, koska



monet luonnon elementit ovat korvaamattomia (Jeronen, 2023a; Klarin, 2018). Heikon kestävyuden käsitteen mukaan kestävyuden eri ulottuvuudet ovat keskenään samanarvoisia ja toistensa kanssa korvattavissa (Davidson, 2014; Jeronen, 2023b).

Ympäristökasvatuksen ja kestävä kehityksen kasvatuksen tutkimus vaikutti osaltaan siihen, millaiset käsitteet vakiintuivat yleiseen käyttöön. Ympäristökasvatuksen tutkimuksessa painottui 1990-luvulla yksilö- ja sosiaalipsykologinen näkökulma, jossa haluttiin selvittää esimerkiksi arvojen, asenteiden ja ympäristötietoisuuden vaikutuksia ihmisten ympäristökäyttäytymiseen. Keskeinen tausta tässä lähestymistavassa on Ajzenin (1991) *suunnitellun käyttäytymisen teoria* (theory of planned behavior). Myöhemmin Bamberg ja Möser (2007) julkaisivat kvantitatiivisia tutkimuksia hyödyntävän meta-analyysiin perustuvan yhteenvedon ympäristökäyttäytymiseen vaikuttavista tekijöistä. Kvantitatiivinen metodologia jatkuu edelleen osana ympäristö- ja kestävyyspsykologista tutkimusta (Steg & Groot, 2018). Uitto ym. (2015) sekä Saloranta (2017) kehittivät koulun kestävyyskasvatuksen *empiirisiä malleja*, jotka perustuvat laajaan aineistoon ja joissa sovelletaan suunnitellun käyttäytymisen teoriaa yksilö- ja kouluyhteisötasolla (Kuvio 2.2). Mallit kuvaavat opetuksen yhteyksiä oppilaiden ympäristövastuulliseen toimintaan heidän omassa elämässään. Malleilla ei kuitenkaan haluta korostaa suoraa lineaarista vaikutusta, vaan koulun toiminnan ja opetuksen tekijöitä, jotka ovat yhteydessä oppijoiden omaan toimintaan koulun ulkopuolella. Nykyisin kvantitatiivista mallinnusta hyödynnetään kestävyyskasvatuksen vaikuttavuutta mittaavassa koulututkimuksessa, jossa toimintakompetenssilla on keskeinen asema (Sass ym., 2023a, b).

*Ympäristökäyttäytymiseen* (environmental behaviour) vaikuttavat käsitteet on omaksuttu myös ympäristö- ja kestävyyskasvatuksen käsitteellisten mallien luomiseen (vrt. Hungerford & Volk, 1990). Käyttäytymiseen liittyviä tekijöitä, kuten ympäristöasenne, -tietoisuus, -huoli, -ahdistus, luontosuhde, ympäristöherkkyys, -kiinnostus, motivaatio ja voimaantumisen, on alettu käyttää myös kasvatuksellisessa arvokeskustelussa. Ympäristöpsykologian käsitteistöä ja tuloksia hyödyntäviä kotimaisia käsitteellisiä malleja ovat esimerkiksi *sipulimalli* (Käpylä, 1995) ja *talomalli* (Jeronen ym., 2009), joita kehiteltiin ja koeteltiin käytännön koulutyössä yhdessä eri koulujen opettajien kanssa. Cantellin ym. (2019) ilmastokasvatuksen polkupyörämallissa polkupyörän toimintaan on yhdistetty vertauskuvallisesti affektiivisia ja pedagogisia käsitteitä, jotka

kuvaavat ilmastokasvatuksen perustan muodostavia asioita. Nykyisin kestävyyskasvatusta tutkitaan monien erilaisten tutkimusstrategioiden avulla (vrt. Stevenson ym., 2012).

### *Kestävyyskasvatuksen monet määritelmät*

Kestävyyskasvatukselle on monia määritelmiä (Taulukko 2.5a, b). Niiden tavoitteissa ja sisällöissä on erilaisia painotuksia, mitä ilmentävät esimerkiksi käsitteet ilmastokasvatus, biodiversiteettikasvatus ja ihmisoikeuskasvatus. Taulukossa 2.5a ja b kuvastuu myös painotusten ajallinen muutos. ”Kestävän kehityksen kasvatus” ja ”kestävyyskasvatus” poikkeavat toisistaan siinä, että edellisessä painottuu yksilötason käyttäytymisen muutostarve, kun taas jälkimmäisessä paikallisten, kansallisten ja kansainvälisten organisaatioiden muutostarve (Sterling ym., 2013, 2018). Nykyisin korostetaan toivottavaa tulevaisuutta ja kestävyyskasvatuksen merkitystä myös luonnontiedekasvatuksessa (Laherto, 2020; Jeronen ym., 2024). Transformatiivisessa kestävyyskasvatuksessa ja sitä koskevassa tutkimuksessa painotetaan sosiaalisen oppimisen ja vastuuajattelun laajentamista *yksilötasolta* (mikrotaso) *yhteisöihin* (mesotaso, koulut, oppilaitokset) ja *yhteiskunnallisiin instituutioihin* (makrotaso, kaupungit, alueet, valtiot, Boeren, 2019).

Kuten Sjöströmin ja Eilksin (2018) visiossa 3 myös kestävyyskasvatuksen määritelmässä (Taulukko 2.5a, b) viitataan usein transformatiiviseen oppimiseen, kriittiseen ajatteluun, *voimaantumiseen* (empowerment) sekä *osallisuuteen*, *toimijuuteen* ja *toimintaan* (participation, agency, action).

Aikuiskoulutusta tutkinut Jack Mezirow ja kestävyyskasvatusta puolestaan tutkinut Stephen Sterling ovat keskeisiä teoreetikkoja transformatiivisen oppimisen määrittelyssä. Mezirowin (esim. 1978; 1991; 1997; 2002a, b) transformatiivisen oppimisen teoria korostaa oppimisen aikana ja seurauksena tapahtuvaa itseä koskevien käsitysten, maailmankuvien ja käyttäytymistapojen muutosta. Mezirowin mukaan transformatiivisessa oppimisessä sekä kognitiiviset että affektiiviset prosessit ovat yhtä tärkeitä, mutta ne voivat olla ristiriidassa toistensa kanssa. Teorian mukaan oppiminen on yhteydessä yksilön sosiaaliseen ja kulttuuriseen ympäristöön, jossa kokemukset muokkaavat yksilön ajattelutapoja, arvoja, asenteita ja toimintaa yhdenmukaiseksi suhteessa yksilön viiter ryhmään. Transformatiivista oppimista edellyttävässä tilanteessa

yksilö havaitsee suhteensa ympäristöönsä ja sen antamiin tulkintoihin todellisuudesta muuttuneen, jolloin hän joutuu kriittisesti refleктоimaan ja arvioimaan omia uskomuksiaan ja lopulta muuttamaan myös omaa toimintaansa.

Sterling (esim. 2004, 2008, 2010–11, 2013) puolestaan käsittelee transformatiivista oppimista erityisesti kestävyyskasvatuksen yhteydessä painottaen ekologista ja systeemistä ajattelua kestävyysshaasteiden ratkaisemiseksi. Sekä Mezirowin että Sterlingin mukaan transformatiivinen oppiminen on keskeistä syvällisen muutoksen aikaansaamiseksi ajattelu- ja toimintatavoissa. Molempien näkemysten mukaan kriittinen reflektio on keskeinen osa oppimisprosessia, ja molemmat tunnustavat sosiaalisen ja kulttuurisen kontekstin merkityksen transformatiivisessa oppimisessä. Mezirowista poiketen Sterling korostaa, että oppiminen ei ole vain yksilöllinen muutosprosessi, vaan oppiminen on oleellista erityisesti yhteisöjen ja yhteiskunnan tasolla. Sterlingin (2010–11) mukaan olemassa olevan koulutusparadigman osien kehittäminen ei yksin riitä, vaan tarvitaan koko koulutusparadigman muutosta. Oppijan tai yhteisön on tarkasteltava kriittisesti ja tarvittaessa muutettava uskomuksiaan, arvojaan ja oletuksiaan, mikä voi olla vaikeaa ja tuntua epämiellyttävältä.

*Taulukko 2.5a. Kestävyyttä edistävän kasvatuksen käsitteet (vrt. Jeronen, 2023a, b, c, d; Mykrä, 2021).*

<i>Käsite</i>	<i>Kasvatusnäkemysten tavoitteet</i>
Luontokasvatus	Tietoisuuden, tiedon ja ymmärryksen lisäämisen sekä ekologisten taitojen kehittämisen kautta luontoyhteyden, luonnon ymmärtämisen ja eliölaajien suojelun tukeminen (Wals ym., 2017).
Ympäristökasvatus, Environmental education (EE)	Ekologisten järjestelmien suojeleminen (Taylor ym., 2019); biofysikaalisen ympäristön ja sen ongelmien tunteminen sekä motivaatio toimia ongelmien ratkaisemiseksi (Stapp, 1969). Aktiivinen osallistuminen ympäristön laatua koskeviin ekologiisiin, sosioekonomisiin ja poliittisiin kysymyksiin (Tilbury, 1995, 2006).
Kestävän kehityksen kasvatus, Education for sustainable development (EfSD, ESD)	Kestävän kehityksen sosiaalisten ja taloudellisten näkökohtien tarkasteleminen tulevaisuuden näkökulmasta (Taylor ym., 2019); kestävyyskäsitteiden tiedollinen, sosiaalinen, emotionaalinen ja toiminnallinen kehittyminen kaikilla koulutuksen tasoilla (Fien, 2001; Jickling & Spork, 1998, Taylor ym., 2019; Tilbury, 1995, 2006); vuorovaikutus- ja yhteistyötaitojen (Brundiers & Wiek, 2010, 2017; Wiek ym., 2011a, b, 2016) sekä empatiakyvyn kehittyminen ja osallistumisen mahdollistaminen (Corres ym., 2024), ytimessä tieteidenvälinen ja poikkitieteinen tieto (European Commission, 2022).
Kestävyyskasvatus, Education for sustainability (EfS)	Sosiaalisten tekijöiden ymmärtäminen ja aktiivinen kansalaisuus, muuten kuten ESD (Taylor ym., 2019; Wade, 2008).
Kestävyyskasvatus, Sustainability education (SE)	Humanististen ja ekologisten arvojen pohjalle rakentuva transformatiivinen toiminta tunnustamalla kestävän kehityksen ulottuvuuksien riippuvuus toisistaan ja riippuvuuden vaikutukset toimintaan sekä tarve muuttaa toimintaa, muuten kuten ESD ja EfS (Sterling, 2001, 2004, 2008).
Ympäristö- ja kestävyyskasvatus, Environmental and sustainability education (ESE)	Sosiaalisen ja ympäristöllisen hyvinvoinnin luominen sekä kestävän ja tasa-arvoisen maailman saavuttaminen ympäristökasvatuksen, kestävyys- ja rauhankasvatuksen avulla (Cincera ym., 2022; Simms ym., 2020)
Transformatiivinen kestävyyskasvatus Transformative sustainability education (TSE)	Sosio-ekologista maailmankuvaa koskeva muutos ja sen mukainen arvojen, käsitteiden ja toiminnan muutos kestävyiden puolesta (Sterling, 2010–2011; Sterling ym., 2013, 2018)

*Taulukko 2.5b. Kestävyyttä edistävän kasvatuksen käsitteet (vrt. Jeronen, 2023a, b, c, d; Mykrä, 2021).*

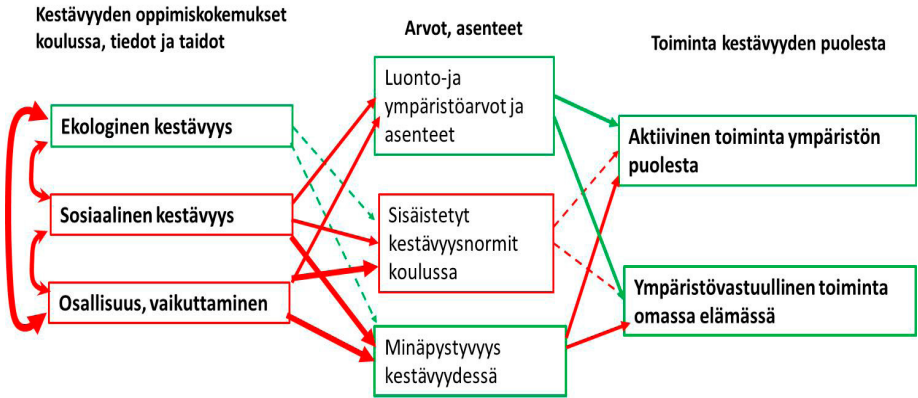
<i>Käsite</i>	<i>Kasvatustavoitteet</i>
Biodiversiteetti-kasvatusta, monimuotoisuusopetus, Biodiversity education	Luonnon monimuotoisuuden merkityksen ymmärtäminen ja vastuullinen suhtautuminen luontoon sekä toiminta biodiversiteetin säilymistä puolesta (Wolff, 2022a); luonnon monimuotoisuuden erilaisten merkitysten, tulkintojen ja käytötapojen tiedostaminen ja ymmärtäminen, oman kulttuurisen, henkisen ja taloudellisen perinnön ja oman toiminnan vaikutusten ymmärtäminen sekä biodiversiteetin ja ihmisten hyvinvoinnin välisen suhteen tunnistaminen (Lindemann-Matthies ym., 2009); oleellista kokemuksellinen ja tutkimuksellinen ulkona oppiminen.
Ilmastokasvatusta, Climate education (CE)	Ilmastojärjestelmän toiminnan ymmärtäminen (Schreiner ym., 2005).
Ilmastonmuutos-kasvatusta, Climate change education (CCE)	Ilmastonmuutoksen syiden ja seurausten ymmärtäminen, valmistautuminen elämään ilmastonmuutoksen vaikutusten kanssa, luovuuden kehittyminen ja toiminta kestävästä elämäntavasta puolesta (Stevenson ym., 2017); oleellista toiminnallinen ja tutkimuksellinen oppiminen.
Tasa-arvo- ja monikulttuurisuus-kasvatusta, Equity and diversity education	Maailmanlaajuisten prosessien, haasteiden ja ongelmien kriittinen arviointi, haitallisten normien ja järjestelmien kyseenalaistaminen ja aktiivinen osallistuminen nykyistä oikeudenmukaisemman ja tasa-arvoisemman tulevaisuuden rakentamiseen (Arbeiter & Bučar, 2021); oleellista kaikkien oppijoiden läsnäolo ja osallistuminen kaikilla koulutuksen tasoilla (Ainscow, 2016; Laasonen-Tervaoja ym., 2021).
Ihmisoikeus-kasvatusta, Human rights education (HRE)	Tietojen, asenteiden, arvojen ja taitojen sekä toimintatapojen kehittyminen ihmisoikeusmyönteisen kulttuurin vahvistamiseksi (Arbeiter & Bučar, 2021; Kasa & Kouros, 2020).
Gloobalkasvatusta, Global education,	Sosiaalisen eriarvoisuuden tunnistaminen yhteiskunnassa ja siihen puuttuminen (Balsiger ym., 2017; Scheunpflug & Asbrand, 2006).
Tulevaisuuskasvatusta, Future education, Education for future	Mukautumistaitojen, kriittisen ajattelun ja luovuuden sekä valmiuksien kehittyminen muuttuvassa ja teknisesti kehittyvässä maailmassa menestymiseksi; oleellista yhteistyötaito, ongelmanratkaisu ja globaalien haasteiden syvälinen ymmärtäminen vastuullisen maailmankansalaisuuden ja kestävästä kehityksen edistämiseksi (Laherto, 2020; Stein ym. 2022; Mastrantonio, 2023).

## *Kestävyydskompetenssin edistäminen koulussa*

Koulun toimintakulttuurissa transformatiivinen oppiminen on avainasemassa edistettäessä sosiaalisia prosesseja koko koulu yhteisössä (Bivens ym., 2009; Mogren, 2019). Tämä tarkoittaa oppijoiden osallisuuden, toimijuuden ja opetuksellisten ratkaisujen kehittämistä. Osallisuus ja toimijuus liittyvät yhteiseen suunnitteluun ja tulevaisuuden visiointiin sekä kriittiseen ajatteluun ja reflektointiin (Tilbury, 2007). Koulu yhteisössä se tarkoittaa eri sidosryhmien yhteistyötä, koko koulun mukaan ottavia lähestymistapoja ja yhteistä sosiaalista vastuuta (Sterling, 2004; Wals ym., 2017). Opetuksen ja muun toiminnan kannalta tämä merkitsee kestäviin toimintatapoihin ja kestävyyskasvatukseen sitoutumista, jonka tavoitteena on myös kestävyyskompetenssien omaksuminen (Saloranta, 2017; Uitto ym. 2015). Oppijatasolla oleellista on omien olettusten ja uskomusten kriittinen tarkastelu, tunteiden huomioon ottaminen ja ristiriitaisuuksien tiedostaminen ja ymmärtäminen. Tavoitteena on kyky, halu ja tahto toimia esimerkiksi biodiversiteetin vähenemisen estämiseksi, ilmastomuutoksen ja sen vaikutusten hillitsemiseksi, sosiaalisen oikeudenmukaisuuden lisäämiseksi ja muutoksiin sopeutumiseksi.

Oppijoiden kannalta koulutuksen *kestävyydsmurros* (transgression) eli *perin pohjainen kestävyysmuutos* (sustainability transition) (vrt. Kestävyyspaneeli, 2020; UN, 2019) voisi tarkoittaa esimerkiksi opetuksen järjestämistä siten, että oppijoilla on mahdollisuus aktiiviseen ja omaehtoiseen toimintaan kestävyiden edistämiseksi. Oppijoiden kestävyteen liittyvien tiedollisten ja taidollisten oppimis- ja osallisuuskokemusten olevan yhteydessä ekologisesti ja sosiaalisesti kestävään toimintaan myös oppijoiden omassa elämässä (Saloranta, 2017; Uitto ym., 2015). Esimerkiksi Uiton ym. (2015) empiirisen mallin mukaan (Kuvio 2.2) *toimijuus-* ja *osallisuuskokemukset* ovat tärkeimpiä oppimiskokemuksia ekologiseen kestävyteen kasvamisessa. Perusopetuksen yläluokilla ekologiseen kestävyteen sisältyviä oppimiskokemuksia ovat esimerkiksi ekologisen jalanjäljen laskeminen, energiansäästö, tuotteen elinkaaren tutustuminen, kierrätystapahtumat, teemaviikot ja vierailut. Sosiaalisen kestävyden sisältöjä ja oppimiskokemusten teemoja puolestaan ovat esimerkiksi turvallisuus, terveys ja hyvinvointi, vierailut ja avustuskampanjoihin osallistuminen. Mallin mukaan sosiaalisen kestävyden ulottuvuuksiin ja osallisuuskokemuksiin yhdistetyt aktiviteetit linkittyvät oppijoiden ympäristöarvoihin ja -asenteisiin ja varsinkin kestävyttä koskevaan minäpystyvyyteen (Bandura, 1997). Mallissa arvot ja minäpystyvyys yhdessä ovat puolestaan tärkeimpiä

kestävän kehityksen mukaisen toiminnan edistäjiä (Uitto ym., 2015) (Kuvio 2.2). Alaluokilla puolestaan koulun normeilla eli toimintatapasäännöillä on merkitystä kestävyteen kasvamisessa (Saloranta, 2017).



Kuvio 2.2. Kestävän kehityksen oppimiskokemusten yhteys arvoihin, asenteisiin, minäpystyvyyteen sekä ympäristövastuulliseen toimintaan omassa elämässä. Nuolen paksuus kuvastaa tekijöiden vaikutusvoimakkuutta (mukailtu lähteestä Uitto ym., 2015).

Myös eri oppiaineiden opetuksella on kestävyyskasvatuksessa edelleen keskeinen rooli (Jeronen ym., 2024; Uitto & Saloranta, 2017), mikä ilmenee myös Euroopan komission uusimmasta raportista (European Commission, 2024). Suomessa koulun opetussuunnitelmissa määritellään opetuksen yleiset tavoitteet, joissa kestävä kehitys on tärkeä päämäärä (esim. OPH, 2003, 2004, 2014, 2019). Opettajilla on merkittävä rooli kestävyyskasvatuksen ja -opetuksen toteuttamisessa. Aineenopetuksen painotuksiin toteuttaa kestävyysopetusta ja sen ekologista, taloudellista ja sosiaalista ulottuvuutta vaikuttaa oppiaineen luonne (Gericke, 2022; Uitto & Saloranta, 2017). Kouluopetuksessa oppiaineilla on omat vahvuusalueensa kestävyysaiheiden opetuksessa (Uitto & Saloranta, 2017) ja ainerajat ylittävissä opetuksessa (*cross-curricular didactics*, Jöström ym., 2024).

Pohjoismaisissa tutkimuksissa on kuitenkin havaittu, että kestävyden eri osa-alueita, kuten sosiaalisen kestävyden teemoja, ei ole riittävästi tarkastel-

tu eri oppiaineiden oppikirjoissa (esim. Aivelo & Huovelin, 2020; Biström & Lundström, 2021a). Myöskään oppijoiden toimintakompetenssia ei oppimateriaaleissa pyritä vahvistamaan (Biström & Lundström, 2021b). Kestävyyskasvatuksen tueksi on nykyään olemassa monia koulun ulkopuolisten toimijoiden julkaisemia materiaaleja (vrt. esim. Luku 8). Lukion oppijalähtöisen kestävä kehityksen opetuksen mallissa (Helenius ym., 2022) on hyödynnetty koulun toimintakulttuuria käsittelevää tutkimusta (Uitto ym, 2015, Uitto & Saloranta, 2017; Saloranta, 2017). Tässä oppijalähtöisessä mallissa oppijat toimivat opetuksen suunnittelijoina sekä osallisuutta ja toimijuutta kasvattavan projektin toteuttajina. Palautteen mukaan oppijat kokivat pystyvyytensä kasvaneen. He kertoivat myös oppineensa kestävyiden toimintataitoja, jotka ovat UNESCO:n (2017) mukaan kestävyyskasvatuksen ytimessä (Helenius ym., 2022).

Opetussuunnitelmat ja koulun ulkopuolisten toimijoiden ohjelmat toteuttavat kestävyysmurrokseen tähtäävää toimintaa. Koko koulun lähestymistapaa (whole-school approach, Breiting & Mayer, 2015) ja kestävyysliittynyttä toimintakompetenssia ovat opetussuunnitelmien lisäksi konkreettisesti tukeneet Suomessa Vihreän lipun ohjelma ja Okka-säätiön koulujen kestävä kehityksen sertifiointiohjelma. Vihreä lippu tarjoaa kestävä kehityksen ohjelman ja ympäristösertifikaatin päiväkodeille, kouluille, oppilaitoksille ja vapaa-ajan toimijoille. OKKA-säätiö kehittää oppilaitosten ja koulujen kestävä kehitystä tarjoamalla työkaluja, ohjausta ja koulutusta sekä mahdollistaa koulujen kestävyiden ulkoisen arvioinnin ja sertifikaatin hakemisen. Ohjelmat ovat onnistuneet luomaan pysyvän yhteistyön lukuisten oppilaitosten kanssa, mutta ohjelmien vaikuttavuus vaihtelee eri kouluissa (Olsson ym., 2022; Saloranta, 2017). Kestävyysmurrosta edistäviä kasvatustavoitteita ja vaikuttavuutta on kuitenkin hankalaa arvioida (Shephard ym., 2019). Transformatiivinen kestävyyskasvatus on prosessi jota ylläpidetään ja kehitetään jatkuvasti (Taulukko 2.5a).

### *Kestävyyskompetenssit biologian opetussuunnitelmissa ja UNESCO:n viitekehyksessä*

Samoin kuin kestävä kehitystä ja sitä edistävää kasvatusta koskevat näkökulmat ovat muuttuneet painottamaan transformatiivista kestävyyskasvatusta, myös opetussuunnitelmissa kestävyysteema ja sen painotukset ovat muuttuneet ja laajentuneet viime vuosikymmenillä. Opetushallituksen teettämän laajan rehtoreille suunnatun kyselyn perusteella 1990-lopulla kestävä kehityk-



sen opetusta toteutettiin eniten biologian opetuksessa, koska siinä painottui ekologinen kestävyys (Rajakorpi, 2001). 2000-luvulla (vrt. OPH, 2003, 2004) ympäristö- ja kestävyysteemoja käsiteltiin eniten biologian ja maantieteen opetuksessa. Jotta kestävyys olisi saatu laajasti mukaan opetukseen, opetus-suunnitelman perusteissa oli myös kestävä kehityksen tukemiseksi kaikissa oppiaineissa toteutettava *kestävän kehityksen aihekokonaisuus*, johon liittyvät käsitteet kestävä elämäntapa ja kestävä tulevaisuus. Aihekokonaisuuden painotusten vuoksi kestävä kehitystä käsittelevän opetuksen painopiste säilyi tuolloin ekologiaa ja ekologista kestävyyttä käsittelevissä aiheissa.

2010-luvulla biologian opetussuunnitelmissa (OPH 2014, 2019) kestävyysteemat mainitaan ekologisten systeemien rakenteen, toiminnan, evoluution ja biodiversiteetin ymmärtämisen yhteydessä. Lisäksi tavoitteena mainitaan ekosysteemipalvelujen merkityksen ymmärtäminen ihmisten hyvinvoinnin kannalta ja argumentaatiotaito luontoa ja ihmistä koskevien eettisten valintojen perustelemissa. Keskeinen tavoite on tietoisuus siitä, miten kestävä tulevaisuutta rakennetaan.

UNESCO (2017) on määritellyt kestäväälle kehitykselle 17 *tavoitealuetta* (sustainable development goals, SDGs). Tavoitteissa kuvataan aikaisempaa tarkemmin ekologista, sosiaalista ja taloudellista kestävyttä (Kuva 2.2). Vastaa-vasti UNESCO (2017) on määritellyt myös 17 *oppimistavoitealuetta* kestävä kehityksen tavoitteiden saavuttamiseksi (Learning objectives for achieving the SDGs).

Kukin oppimistavoitealue sisältää kognitiivisen, sosio-emotionaalisen ja käyttäytymiseen liittyvän tavoitteen. Kognitiivinen alue käsittää tiedot ja ajattelutaidot, jotka ovat tarpeen kestävä kehityksen tavoitteiden saavuttamiselle ja saavuttamiseen liittyvien haasteiden ymmärtämiselle. Sosio-emotionaaliseen alueeseen kuuluvat taidot, joiden avulla oppijat voivat tehdä yhteistyötä ja neuvotella kestävä kehityksen tavoitteiden edistämiseksi. Siihen kuuluvat myös itsereflektiotaidot ja taidot pohtia arvoja, asenteita ja motivaatiota. Käyttäytymisen alue kuvaa kuhunkin oppimistavoitealueeseen liittyviä toimintakompetensseja (UNESCO, 2017). Tavoitealueita voidaan hyödyntää biologian opetuksen yhteydessä, koska monet niistä liittyvät suoraan biologian tiedonalan sisältöihin (esim. ekologia, evoluutio, biodiversiteetti, ihmisen biologia) (vrt. Dempster ym., 2023; Urry ym., 2019) ja tiedekasvatuksen visioihin 2 ja 3.

2010-luvulla biologian opetussuunnitelmissa (OPH 2014, 2019) kestävyys-teemat mainitaan ekologisten systeemien rakenteen, toiminnan, evoluution ja biodiversiteetin ymmärtämisen yhteydessä. Lisäksi tavoitteena mainitaan ekosysteemipalvelujen merkityksen ymmärtäminen ihmisten hyvinvoinnin kannalta ja argumentaatiotaito luontoa ja ihmistä koskevien eettisten valintojen perustelemissa. Keskeinen tavoite on tietoisuus siitä, miten kestävää tulevaisuutta rakennetaan.

UNESCO (2017) on määritellyt kestäväälle kehitykselle 17 tavoitealuetta (sustainable development goals, SDGs). Tavoitteissa kuvataan aikaisempaa tarkemmin ekologista, sosiaalista ja taloudellista kestävyyttä (vrt. Suomen kestävän kehityksen toimikunta, n.d.):

1. Ei köyhyyttä
2. Ei nälkää
3. Terveyttä ja hyvinvointia
4. Hyvä koulutus
5. Sukupuolten tasa-arvo
6. Puhdas vesi ja sanitaatio
7. Edullista ja puhdasta energiaa
8. Ihmisarvoista työtä ja talouskasvua
9. Kestävää teollisuutta, innovaatioita ja infrastruktuureja
10. Eriarvoisuuden vähentäminen
11. Kestävät kaupungit ja yhteisöt
12. Vastuullista kuluttamista
13. Ilmastotekoja
14. Vedenalainen elämä
15. Maanpäällinen elämä
16. Rauha oikeudenmukaisuus ja hyvä hallinto
17. Yhteistyö ja kumppanuus

Vastaavasti UNESCO (2017) on määritellyt myös 17 oppimistavoitealuetta kestäväen kehityksen tavoitteiden saavuttamiseksi (Learning objectives for achieving the SDGs). Kukin oppimistavoitealue sisältää kognitiivisen, sosio-

emotionaalisen ja käyttäytymiseen liittyvän tavoitteen. Kognitiivinen alue käsittelee tiedot ja ajattelutaidot, jotka ovat tarpeen kestävästä kehityksestä tavoitteiden saavuttamiselle ja saavuttamiseen liittyvien haasteiden ymmärtämiseksi. Sosio-emotionaaliseen alueeseen kuuluvat taidot, joiden avulla oppijat voivat tehdä yhteistyötä ja neuvotella kestävästä kehityksestä tavoitteiden edistämiseksi. Siihen kuuluvat myös itsereflektiiviset taidot ja taidot pohtia arvoja, asenteita ja motivaatiota. Käyttäytymisen alue kuvaa kuhunkin oppimistavoitealueeseen liittyviä toimintakompetensseja (UNESCO, 2017). Tavoitealueita voidaan hyödyntää biologian opetuksen yhteydessä, koska monet niistä liittyvät suoraan biologian tiedonalan sisältöihin (esim. ekologia, evoluutio, biodiversiteetti, ihmisen biologia) (vrt. Dempster ym., 2023; Urry ym., 2019) ja tiedekasvatuksen visioihin 2 ja 3.

UNESCON (2017) mukaan oppimistavoitteiden saavuttamiseksi tarvitaan myös erityisiä *avainkompetensseja* (key competencies), kun yritetään ratkoa nykypäivän monimutkaisia kestävyyshaasteita. Avainkompetenssit ymmärretään erillisinä, määriteltävissä olevina kompetensseina – eli kuten suomenkielisessä ohjeessa todetaan – kestävyysosaamisen eri alueina. UNESCO:n määrittelemät kahdeksan kompetenssia liittyvät lähinnä ajattelutaitoihin, kuten järjestelmäajatteluun (vrt. Voulvoulis ym., 2022) (Taulukko 2.6a, b). Kompetenssimäärittelyt korostavat kykyä ymmärtää ekologisten, sosiaalisten ja taloudellisten järjestelmien keskinäisiä riippuvuuksia, kuvitella vaihtoehtoisia tulevaisuuksia, ymmärtää kestävästä kehityksestä erityiskysymyksiä ja haasteita suhteessa yhteiskunnallisiin normeihin ja sääntöihin sekä kykyä kriittiseen refleksiiviseen ajatteluun ja erilaisten menetelmien käyttöön ongelmien ratkaisussa. Tavoitteisiin kuuluvat myös strategisen toimintaan yhteistyöhön liittyvät kompetenssit. Taulukossa 2.6a ja b on esimerkkejä siitä, miten UNESCO:n määrittelemät kompetenssit liittyvät biologian opetussuunnitelmien tavoitteisiin.

*Taulukko 2.6a. UNESCO:n (2017) määrittelemät kestävä kehityksen edistämisen kompetenssit ja esimerkkejä kompetenssitavoitteista suhteessa biologian opetussuunnitelmiin. PO=Perusopetuksen ja LO=lukion opetussuunnitelman perusteet (OPH, 2014, 2019).*

<i>Kompetenssin kuvaus (UNESCO, 2017)</i>	<i>Esimerkkejä kompetenssitavoitteiden yhtenevyydestä biologian osaamistavoitteisiin</i>
<b>Järjestelmääjattelu:</b> kyky tunnistaa ja ymmärtää suhteita, analysoida monimutkaisia järjestelmiä, tarkastella eri järjestelmiä ja mittakaavoja ja käsitellä epävarmuutta (vrt. taulukko 2.2)	<i>Kehittää järjestelmääjattelua ja eettistä ajattelua:</i> PO: Ymmärtää ekologisten järjestelmien ja biodiversiteetin sekä niiden suojelun merkitys suhteessa teknologisiin, sosiaalisiin ja taloudellisiin järjestelmiin. LO: Ymmärtää elollisen luonnon rakenteet, toiminta ja vuorovaikutussuhteet molekyyli- ja solutasolla biosfääriin
<b>Tulevaisuusajattelu:</b> kyky ymmärtää ja arvioida mahdollisia, todennäköisiä ja toivottavia tulevaisuuksia, luoda omia tulevaisuudennäkymiä sekä soveltaa niihin ennalta varautumisen periaatetta, arvioida toimien seurauksia ja käsitellä riskejä ja muutoksia	<i>Tarkastella menneisyyttä, nykyisyyttä ja tulevaisuutta evoluution, ekologisten järjestelmien ja biodiversiteetin säilymisen kannalta ja pohtia ihmisen hyvinvointia sekä vastuuta suhteessa luontoon ja toisiin ihmisiin</i> PO: Kehittää valmiuksia biologiaa hyödyntävien alojen opiskeluun sekä työelämään LO: Ymmärtää tieteen tarjoamia mahdollisuuksia ihmiskunnan, muun eliökunnan ja elinympäristöjen hyvinvoinnin edistämiseksi; kehittää ymmärrystä siitä, miten biologista tietoa voidaan hyödyntää arkielämässä, jatko-opinnoissa ja työelämässä
<b>Normatiivinen ajattelu:</b> kyky ymmärtää ja tarkastella toiminnan taustalla olevia yhteisöllisiä ja yhteiskunnallisia normeja ja sääntöjä sekä neuvotella kestävä kehityksen arvoista, periaatteista ja tavoitteista sekä käsitellä epävarmaa tietoa ja ristiriitoja	<i>Osata opetussuunnitelmien perusteiden antamat kestävyyskasvatusta koskevat normit:</i> PO: Ottaa huomioon koulua ympäröivässä maailmassa tapahtuvat muutokset ja vahvistaa koulun tehtävää kestävä tulevaisuuden rakentamisessa. LO: Välittää kuva kestävä elämäntavan välttämättömyydestä ja luonnonvarojen säästämisen merkityksestä
<b>Strateginen toiminta:</b> kyky kehittää ja toteuttaa kollektiivisesti innovatiivisia toimintoja, jotka edistävät kestävyttä paikallisella tasolla ja sitä laajemmin	<i>Kehittää ja toteuttaa toimintaa koulun lähiympäristössä oppijoiden oppimisen ja hyvinvoinnin edistämiseksi:</i> PO: Edistää vaikuttamis- ja osallistumisvalmiuksia oppijan oman lähiympäristön kehittämisen ja sen elinvoimaisena säilymisen näkökulmasta. LO: Tukea toimintaa kestävä elämäntavan edistämiseksi omassa lähiympäristössä

*Taulukko 2.6b. UNESCO:n (2017) määrittelemät kestävän kehityksen edistämisen kompetenssit ja esimerkkejä kompetenssitavoitteista suhteessa biologian opetussuunnitelmiin. PO=Perusopetuksen ja LO=lukion opetussuunnitelman perusteet (OPH, 2014, 2019).*

<i>Kompetenssin kuvaus (UNESCO, 2017)</i>	<i>Esimerkkejä kompetenssitavoitteiden yhtenevyydestä biologian osaamistavoitteisiin</i>
<b><i>Yhteistyö ja yhteisöllinen toiminta:</i></b> kyky oppia muilta; ymmärtää ja kunnioittaa muiden tarpeita, näkökulmia ja toimia (empatia); ymmärtää muita ja olla herkkä muille (empaattinen johtajuus), käsitellä konflikteja ryhmässä ja helpottaa yhteistyötä ja osallistuvaa ongelmanratkaisua	<i>Kehittää oppijoiden identiteettiä sisällyttämällä osallistavaa opiskelua opetukseen, edistämällä yhteistyöhön perustuvaa vuorovaikusta koulu yhteisössä ja kehittämällä yhteistyötä edistäviä oppimisympäristöjä:</i> PO: Edistää yhteistyötaitoja ja yhteisöllisyyttä LO: Käyttää vuorovaikutteisia työ- ja toimintatapoja ja yhteistyötä mm. terveystiedon, maantiedon sekä muiden oppiaineiden kanssa
<b><i>Kriittinen ajattelu:</i></b> kyky kyseenalaistaa normeja, käytäntöjä ja mielipiteitä; tarkastella omia arvoja, käsityksiä ja tekoja ja osallistua kestävän kehityksen keskusteluun	<i>Kehittää kriittistä havainnointitaitoa, kriittistä ajattelua ja kriittistä lukutaitoa:</i> PO: Kehittää ymmärrystä siitä, miten biologian tietoja ja taitoja voidaan soveltaa ja hyödyntää omassa elämässä, eettisissä pohdintoissa ja ajankohtaisten biologiaan liittyvien uutistenseurannassa; kehittää erilaisia ilmiöitä ja tietolähteitä koskevaa kriittistä tarkastelua LO: Kehittää median kautta välittyvän biologisen tiedon kriittistä arviointia
<b><i>Isetuntemus:</i></b> kyky tarkastella omaa roolia paikallisyhteisössä ja (globaali) yhteiskunnassa, arvioida ja motivoida toimintaa jatkuvasti sekä käsitellä tunteita ja toiveita	<i>Tukea ja kehittää oppijoiden itsearviointi- ja itsesäätelytaitoja, kyvykkyydentuntemusta, itsekunnioitusta ja itseohjautuvuutta:</i> PO: Tukea itsensä ja muiden ihmisten ymmärtämistä LO: Tukea omien tavoitteiden asettamista
<b><i>Integroiva ongelmanratkaisu:</i></b> kyky soveltaa erilaisia ongelmanratkaisukehyksiä monimutkaisiin kestävän kehityksen ongelmiin ja kehittää niihin sovellettavissa oleva, osallistava ja oikeudenmukainen ratkaisu, edistää kestävää kehitystä integroimalla edellä mainittuja kompetensseja.	<i>Kehittää oppijoiden ongelmanratkaisutaitoja, rohkaista oppijoita vuorovaikutukseen ongelmanratkaisussa ja argumentaatiossa:</i> PO: Tukea oppijoiden ongelmanratkaisutaitoja LO: Tukea tarkasteltavia ilmiöitä koskevien kysymysten ja tutkimusongelmien esittämistä

Biologian tiedonala tarjoaa kestävyysaasteiden ja niiden ratkaisujen välineiksi systeemiajatteluun perustuvia käsitteistöjä (vrt. Taulukko 2.2). 2010-luvun opetussuunnitelmissa (OPH, 2014, 2019) kestävyyskompetenssit liittyvät ilmiöiden ymmärtämiseen, valmiuksien kehittämiseen, toimintaan, yhteistyötaitoihin, kriittisyyteen, tavoitteiden asettamiseen, tutkimuksellisuuteen ja ongelmanratkaisuun (vrt. Taulukko 2.6a, b). Kestävää kehitystä käsittelevässä opetuksessa järjestelmäajattelun eri muotoja voidaan sovelletusti käyttää kaikilla vuosiluokilla, kun tarkastellaan ekologisten, sosiaalisten ja taloudellisten järjestelmien osia ja niiden toimintaa. Oppijoiden järjestelmäajattelun kehittymistä voidaan tukea virittämällä oppijoiden kiinnostusta ja tukemalla heidän opiskelumuotiotaan biologisia aiheita kohtaan (Uitto ym. 2011; Yli-Panula ym., 2024) sekä mahdollistamalla heidän osallistumisensa todellisten kestävyysaasteiden ja niiden ratkaisumahdollisuuksien pohtimiseen (Ratinen & Linnanen, 2022; alaluku 2.3).

Uiton ym. (2015) esittämän mallin mukaan kestävyteen liittyvä osallisuus ja toimijuus koulussa voivat vahvistaa oppijoiden luontoarvoja, kestävään toimintaan liittyvää minäpystyvyyttä ja kompetensseja toimia kestävällä tavalla myös koulun ulkopuolella. Wang ym. (2022) ovat osoittaneet, että ongelmalähtöisyyttä, itseohjautuvuutta ja osallisuutta korostavat työskentelytavat tukevat oppijoiden ajattelutaitojen kehittymistä. Transformatiivisesta näkökulmasta pedagogisesti perusteltuja opetusmenetelmiä ovat kokemukselliset, tutkimukselliset, oppijakeskeiset sekä osallisuutta ja toimijuutta edistävät lähestymistavat (Jeronen ym., 2022; Yli-Panula ym., 2021b; Uitto ym., 2015). Lisäksi argumentoivat, tunnetaitoja ja arvo- ja asennekasvatusta painottavat työtavat sopivat kestävyyskasvatukseen (Jeronen ym., 2017; Yli-Panula ym., 2018, 2021a).

### *Tiedekasvatuksen visio 3 ja kestävän kehityksen osaamiskehykset*

UNESCO:n (2017) osaamiskehyksen ohelle Euroopan Unioni on kehittänyt oman GreenComp-osaamiskehyksensä (Bianchi ym., 2022). Osaamiskehykset ovat laaja-alaisia kokonaisuuksia, joissa yksittäisillä oppiaineilla, kuten biologialla, ei ole lähtökohtaisesti erikseen mainittua merkitystä, vaan tavoitteet kuvataan liitettyinä kaikkien opetukseen ja koulutukseen. Osaamiskehystä voidaan käyttää esimerkiksi kestävyyskasvatuksen edistämiseen yliopistoissa ja korkeakouluissa, opettajankoulutuksessa ja ammatillisessa koulutuksessa.

Osaamiskehyksissä määritellään kestävyysosaamisen osatekijät, joita voidaan integroida koulutusohjelmien sisältöihin.

GreenComp-osaamiskehyksen (Bianchi ym., 2022) ja UNESCO:n (2017) kestävä kehityksen kompetenssikuvaukset ovat samankaltaisia, mutta niissä on myös eroja. Molempiin kuvauksiin sisältyy tavoite kestävä kehityksen arvoistamisesta, oikeudenmukaisuuden tukemisesta sekä kestävyyttä edistävästä yksilöllisestä ja yhteisöllisestä toimijuudesta. Molemmat asiakirjat kohdistuvat opettajille ja päättäjille, mutta UNESCO:n kehys kohdistuu erityisesti opetussuunnitelmien kehittämiseen, kun taas GreenComp sisältää myös työnantajat keskeisenä kohderyhmänä. Työelämän toimintatapojen parantamisen lisäksi GreenComp-viitekehyksessä korostetaan poliittista toimijuutta ja valmiutta vastata vihreän talouden vaatimuksiin (Sourgiadaki & Karkalakos, 2023).

GreenComp-osaamiskehyksen käytöstä on vähän tutkittua tietoa. Laherto ym. (2023) mukaan tiedekasvatuksessa on kuitenkin jo pitkään tutkittu osaamiskehyksessä mainittuja tavoitteita, kuten kestävyysarvoja, ajattelutaitoja ja kestävyystoimintaa. Sen sijaan tulevaisuuteen suuntautuvaa pedagogiikkaa eli kestävien tulevaisuuksien visiointia on luonnontiedekasvatuksessa tutkittu vähemmän (Laherto ym., 2023). Bianchin ym. (2022) mukaan GreenComp on ns. ”elävä asiakirja”, jota on tarkoitus täydentää käyttökokemusten perusteella. Osaamiskehyksellä on merkitystä, mikäli sen avulla voidaan edistää kestävyttä. Kestävyys voidaan ymmärtää paradigmana (Kuhn, 1962), joka sisältää tulevaisuutta koskevan ajattelu- ja toimintatavan, missä ekologiset, sosiaaliset ja ekonomiset näkökohdat ovat tasapainossa parempaan elämänlaatuun pyrittäessä. Siinä painottuvat sukupolvien välinen tasa-arvo, sukupuolten tasa-arvo, sosiaalinen suvaitsevaisuus, köyhyyden lievyys, luonnonvarojen ja ympäristön suojelu ja entisöinti sekä oikeudenmukaisten ja rauhallisten yhteiskuntien rakentaminen (Jeronen, 2024). Osaamiskehyksillä pyritään vaikuttamaan tuotantoon, kulutukseen ja kiertotalouteen sekä niihin liittyvään koulutukseen ja kestävyysosaamiseen.

Yhteenvetona voidaan todeta, että transformatiivisen kestävyyskasvatuksen integrointi kouluopetukseen on ollut haasteellista. Suomessa Mykrän (2023) mukaan perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet eivät ole riittävän selkeitä kestävyiden osalta, vaikka kestävyys on tärkeä koulun arvoperustaa ja osa laaja-alaista osaamista. Oppiaineiden sisällöistä ovat puuttuneet konkreettiset tavoitteet kestävyiden edistämiseksi. Muutos kohti kestävä kehitystä

kaikilla toiminnan tasoilla korkean tason politiikasta koulujen arkeen näyttää olevan monimutkaista (Mykrä, 2023). Kestävä kehitys ja kestävyyskasvatus ovat laajoja ja moniulotteisia asioita, joiden opetus suunnitelmallinen määrittely ja arviointi ovat haastavia toteuttaa (Shephard ym., 2019). Tätä seikkaa korostavat myös erot tiedekasvatuksen vision 3 (Sjöström & Eilks, 2018) ja laajojen osaamiskehysten (UNESCO, 2017 ja GreenComp; Bianchi ym., 2022) määrittelyjen välillä. Vision 3 mukaan kestävyyskasvatuksen tavoite on toimintakompetenssi (action competence, Jensen & Schnack, 1997; Mogensen & Schnack, 2010; Sass, 2020a; Sass ym., 2023b; Sjöström ym., 2017; Sjöström & Eilks, 2018, 2020), joka rakentuu joustavasti muiden kompetenssien varaan. Näkemys nojautuu kriittiseen pohjoiseurooppalaisen sivistystradition mukaiseen ajatteluun. Toimintakompetenssi määrittellään rakentuvan tiedoista, taidoista, halusta ja sitoutumisesta toimia kestävyiden puolesta, sekä pysyvyykokemuksista toimia kestävyiden edistämiseksi. Osaamiskehyksissä kompetenssit sen sijaan kuvataan useiden kompetenssialueiden avulla, joista toimintakompetenssi on vain yksi kompetenssialue (GreenComp; Bianchi, 2022; UNESCO, 2017). UNESCO (2017) määrittelee toimintakompetenssin myös kuhunkin 17:ään osaamisen tavoitealueeseen. Kestävyyskompetenssien tutkimukseen on käytetty laajoja kansainvälisiä arviointeja (vrt. European Commission, 2024).

Kriittis-refleksiivinen näkökulma kestävyyskasvatukseen ja luonnontieteiden opetukseen (Sjöström & Eilks, 2018, 2020, Visio 3) tarjoaa teoreettisen lähtökohdan oppiainespesifiselle (Hudson ym., 2023; Gericke, 2022;) ja oppiaineraajat ylittävälle ainedidaktiselle tutkimukselle (Sjöström ym., 2024) erityisesti silloin kun tavoitteena on transformatiivinen oppiminen ja toimintakompetenssin kehittyminen kestävyiden edistämiseksi (Mogensen & Schnack, 2010; Uitto, painossa).



## Luku 3. Näkökulmia kestävyyttä korostavan biologian opetukseen ja arviointiin

ANNA UITTO, EIJA YLI-PANULA, EILA JERONEN

Biologian opetussuunnitelmissa painottuvat tiedonalalle ominaiset tiedolliset, taidolliset ja affektiiviset osaamistavoitteet. Lisäksi painotetaan laaja-alaisia oppimistavoitteita, joissa on samoja piirteitä kuin luonnontiedekasvatuksen tavoitteissa. Kuten luvussa 2 todettiin, tavoitteellinen opetus kestävyyskompetenssien vahvistamiseksi on koettu haasteelliseksi. Tässä luvussa tarkastellaan luonnontiedekasvatuksen visioiden huomioon ottamista biologian opetuksessa ja opetussuunnitelmissa, affektiivisten tekijöiden merkitystä oppimisessa ja arvioinnin eettisiä näkökulmia.

### 3.1 Biologian ja kestävyysteeman osaamisen arviointitutkimusta Suomessa

Motivaatiota pidetään tärkeänä oppimista edistävänä psykologisena tekijänä, sillä sen katsotaan vaikuttavan oppijan opiskeluun sitoutumiseen ja siten myös oppimiseen ja osaamiseen. Opiskelumotivaatioon ja osaamiseen vaikuttavat monet asiat, kuten oppijan identiteetti, sosiaalinen verkosto koulussa, kavერი-piirissä, kotiympäristössä ja sosiaalisessa mediassa (Salmela-Aro, 2018). Motivaatioon vaikuttavat myös opetuksen kiinnostavuus, koulun toimintakulttuuri ja ilmapiiri, opetussuunnitelmalliset painotukset, opettajien osaaminen, oppimisympäristöt ja -materiaalit (Atjonen ym., 2019). Oppimisen arviointi on eräs tekijä, joka voi vaikuttaa tunnetasolla oppijan opiskelumotivaatioon (Immordino-Yang & Faeth, 2015).

Motivaatioteorioita on monia, mutta oppimistutkimuksissa on viitattu usein Ryanin ja Decin (2017) *itseääräämisteoriana* (Self-determination theory). Sen mukaan fysiologisten perustarpeiden, kuten riittävän ravinnon, levon ja terveyden ylläpitäminen ovat oppijan hyvinvoinnin perusta, mutta keskeisiä oppimisen kannalta on oppijan *autonomian, kyvykkyyden ja yhteisöllisyyden* tarpeiden tyydyttyminen (autonomy, competence, relatedness, Ryanin ja Deci, 2017). Kun tarpeet ovat tyydyttyneet, oppija voi kokea, että hän voi toimia

ja tehdä valintoja itsenäisesti omista lähtökohdistaan, osaavansa ja onnistuvansa toiminnassaan yhdessä muiden oppijoiden kanssa. Psykologiset tarpeet voivat vaihdella yksilöllisesti esimerkiksi siten, että joku oppija tarvitsee parhaaseen motivaation syttymiseen mahdollisuuden toimia itsenäisesti, toinen taas osaamisen kokemuksi tai sosiaalista kannustusta ja hyväksynnän kokemuksi. Ryanin ja Decin (2017) teoriaa tulkiten heikosti motivoitunut oppija ei ole kiinnostunut oppimisesta ja osaamisensa osoittamisesta. Täysin sisäisesti motivoitunut oppija puolestaan osallistuu innostuneesti ja aktiivisesti opetukseen ja saa oppimisesta iloa ja tyydytystä.

### *Kiinnostus, asenteet ja osaaminen biologian opetuksessa*

Kiinnostus, arvot ja asenteet ovat affektiivisia tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa oppijoiden opiskelumotivaatioon ja opiskeluun sitoutumiseen. Esimerkiksi henkilökohtainen ja pitkäaikainen kiinnostus ja myönteinen asennoituminen opittavaa asiaa, taitoa tai yleensä oppiainetta kohtaan voivat lisätä opiskelumotivaatiota (Schiefele, 2009). Tutkimuskirjallisuudessa asenne on perinteisesti määritelty henkilön taipumuksi arvioida jotakin kohdetta myönteisesti taikka kielteisesti (Eagly & Chaiken, 1993). Davidovin ym. (2008, s. 2) mukaan arvot voidaan määritellä olevan ihmisen syvästi juurtuneita motiiveja, jotka ohjaavat, oikeuttavat tai selittävät asenteita, normeja, mielipiteitä ja tekoja. Arvojen katsotaankin olevan ratkaisevia henkilökohtaisten asenteiden ja käyttäytymisen taustatekijöinä.

Kansallisissa kouluopetuksen arvioinneissa kiinnostusta ja asenteita tutkitaan yleisellä tasolla, koska oleellista on saada tietoa siitä, miten opetuksessa on saavutettu opetussuunnitelmien mukaiset oppimistavoitteet. Luonnontieteiden oppimista, oppilaiden kiinnostusta ja asenteita oppimista kohtaan ovat Suomessa arvioineet muun muassa Opetushallitus ja Kansallinen koulutuksen arviointikeskus laajojen survey-tutkimusten avulla. Koko maata kattavissa tutkimuksissa oppijoiden luonnontieteiden oppiainekohtaista osaamista sekä kiinnostusta ja asenteita oppiaineita kohtaan on arvioitu vuonna 2010 (Kärnä ym., 2012). Tutkimuksessa ilmeni, että keskimäärin biologia koettiin kiinnostavaksi oppiaineeksi ja asenteet oppimista kohtaan olivat myönteisempiä verrattuna muihin luonnontieteisiin. Oppijat kuitenkin osasivat biologiassa parhaiten fakta- ja käsitetietoa, eli järjestelmääjattelun perustasoja (vrt. Taulukko 2.2). Tehtävät, jotka edellyttivät tiedon soveltamista ja analysointia (vrt.

Krathwohl, 2002) olivat heille haasteellisempia biologiassa kuin muissa luonnontieteellisissä oppiaineissa, fysiikassa, kemiassa ja maantieteessä.

Tutkimuksellisuuden (inquiry-based science education, esim. Pedaste ym., 2015) käyttöä biologian opetuksessa on suositeltu, sillä verrattuna moniin muihin työtapoihin, kuten opettajan esitykseen, maasto-opetukseen tai tieto- ja viestintätekniiikan käyttöön opetuksessa, tutkimuksellisten työtapojen toteuttaminen oli eniten yhteydessä biologian osaamiseen, biologiasta pitämiseen oppiaineena, mutta myös oppijoiden käsityksiin omasta pystyvyydestään biologian oppimisessa (Uitto ym. 2013; Uitto, 2014; Uitto & Kärnä, 2014). Tulosten perusteella voidaan olettaa, että biologian opetuksessa tulisi painottaa luonnontieteellisen kompetenssin (Robers & Bybee, 2014) edistämistä, esimerkiksi käyttämällä toiminnallisia ja tutkimuksellisia lähestymistapoja opetuksessa (Uitto, 2012a; 2016; Uitto ym., 2013; Uitto & Kärnä, 2014), jota myös projektioppiminen (Luku 7) ja maastossa työskentely (Luku 8) usein edustavat. Tutkimuksellisuuden toteuttaminen ei kuitenkaan ole aina mahdollista, sillä biologian opettajien mielestä tätä lähestymistapaa käyttäville menetelmille ei ollut kouluissa riittävästi tilaa, aikaa eikä välineitä (Kärnä ym., 2012).

Myös lukioissa toteutetussa tutkimuksessa (Uitto, 2014) tulokset ovat olleet samantyyppisiä kuin Kärnä ym. (2012) tutkimuksessa: oppijat kokivat biologian kiinnostavaksi ja tärkeäksi luonnontieteiden oppiaineeksi. Minäpystyvyyssä biologian opiskelussa (Bandura, 1997) ja henkilökohtainen kiinnostus (Krapp, 2007) biologiaa kohtaan selittivät eniten myös oppijoiden aikomuksia suuntautua biologian alaan liittyville työurille, etenkin naispuolisilla opiskelijoilla (Uitto, 2014). Biologia oppiaineena näyttää kiinnostavan edelleen, sillä ajanjaksolla 2018–2024 ylioppilaskirjoituksissa biologian kokeeseen ilmoittautui enemmän opiskelijoita kuin moniin muihin reaaliaineisiin (vrt. Ylioppilastutkintolautakunta, 2024).

### *Kestävän kehityksen osaaminen arvioinnin kohteena*

Suomessa oppijoiden, opettajien ja rehtoreiden käsityksiä opetuksesta ja koulun mahdollisuuksista toteuttaa opetustehtävänsä kestävyyskasvatuksen osalta on arvioitu muun muassa vuonna 2010 toteutetussa laajassa kansallisessa seurantatutkimuksessa (Uitto, 2012b). Tutkimus oli osa perusopetuksen opetussuunnitelman aihekokonaisuuksien (OPH, 2004, ss. 38–43) arviointia

(Niemi, 2012). Tutkimus osoitti, että 9-luokkalaisten kestävyysosaamiseen oli keskimäärin hyvällä tasolla (3), kun sitä arvioitiin asteikolla 1–5 (Uitto, 2012b). Raportin mukaan (Uitto, 2012b) osaaminen oli yhteydessä myös affektiivisiin seikkoihin, joita olivat kiinnostus luonnon monimuotoisuutta kohtaan, myönteiset luontoarvot ja asenteet, halu vaalia luonnon monimuotoisuutta sekä toimia luonnon suojelemiseksi ekologisen kestävyuden säilyttämiseksi. Kestävyyskasvatuksen tavoitteiden toteutumista on arvioitu myös muissa laajoissa tutkimushankkeissa (Saloranta, 2017; Uitto ym., 2015; Uitto & Saloranta, 2017).

Affektiiviset tekijät ovat tärkeitä kestävyteen liittyvän toimintakompetenssin kehittymisessä. Kotimainen kestävyyskasvatuksen tutkimus (Saloranta, 2017; Uitto ym., 2015; Uitto & Saloranta, 2017) osoittaa, että oppijan osallisuus- ja toimijuuskokemukset ovat merkittäviä motivaation ja toimintakompetenssin edistämisessä koulussa (vrt. alaluku 2.4). Opetussuunnitelmilla on keskeinen rooli siinä, miten opetuksen tavoitteet, opetusmenetelmät ja arviointi määritellään (Mykrä, 2021).

## 3.2 Tiedekasvatuksen visiot 1–3 biologian opetussuunnitelmissa

Perusopetuksen ja lukiokoulutuksen opetussuunnitelmat (OPH, 2014, 2019) painottavat eniten luonnontiedekasvatuksen vision 1 mukaisia luonnontieteellisen osaamisen tavoitteita (vrt. Roberts, 2007, 2011; Luku 2). Tämä ilmenee tieto- ja taitotavoitteiden muodostamassa kokonaisuudessa, johon kuuluvat myös affektiiviset tavoitteet. Esimerkiksi ekosysteemiopetuksessa visio 1 voi tulla huomioon otetuiksi, kun opetuksen sisältyy sisältöjen eli ekosysteemin rakenteen ja toiminnan käsittely, ekosysteemipalvelut ja luonnonsuojelu sekä ja esimerkiksi lähiluonnon tutkiminen opetussuunnitelmien mukaisesti (vrt. alaluvut 2.1-2.2, Luku 8). Käsitteiden ymmärtämistä ja järjestelmääjattelua korostavassa opetuksessa sisältötieto (subject content knowledge) painottuu eniten (vrt. OPH, 2014, 2019). Luonnontieteellisistä kompetensseista (scientific competencies) vastaavasti painottuu kyky selittää ilmiöitä luonnontieteellisesti.

Vision 2 ”tiedettä kaikille” (scientific literacy) tavoitteet voivat toteutua, kun opetuksessa käsitellään biologian tietojen ja taitojen hyödyntämistä oppijan omassa elämässä. Oppimisen arviointi kohdistuu tällöin myös siihen, miten oppija osaa arvioida erilaisia näkökulmia ja argumentoida tietopohjaisesti.

Oppijat voivat esimerkiksi tarkastella metsäympäristöä ja sen käyttöä kokemustensa ja harrastustensa kannalta. Yhteiskunnallis-luonnontieteellinen tarkastelukulma (Sadler, 2011) sisältyy opetukseen, kun oppijat vaikkapa pohivat, millaisia kiistanalaisia näkemyksiä metsien käytöstä on olemassa ja miten metsien suojelua ja taloudellista hyötykäyttöä perustellaan (vrt. Dasgupta, 2021; alaluku 2.3). Ottanderin ja Simonin (2021) mukaan kiistanalaisia aiheita käsitellessä on tärkeää korostaa oppijoiden yhdenvertaisuutta, rakentavaa argumentointia ja demokraattista päätöksentekoa. Vaikka aiheita käsitellään tietopohjaisesti, oppijoiden tulisi olla tietoisia erilaisten näkemysten, arvojen ja asenteiden olemassaolosta ja siitä, että aiheet voivat keskusteluissa herättää voimakkaitakin tunteita. Usein kiistanalaisten aiheiden käsittelyssä oppijoiden rationaaliseen päättelyyn sisältyy arkiajattelua sekä emotionaalista ja intuitiivista päättelyä yhteen kietoutuneena (Ottander & Simon, 2021; Sadler & Zeidler, 2005).

Perusopetuksen opetussuunnitelmassa (OPH, 2014) vision 2 mukainen tavoite ja arviointikriteeri on selkeästi mukana yhdessä taitotavoitteessa: ”T11, kannustaa oppilasta soveltamaan biologian tietoja ja taitoja omassa elämässä sekä yhteiskunnallisessa keskustelussa ja päätöksenteossa” (s. 384). Hyvää osaamista kuvataan seuraavasti: ”Oppilas osaa kuvata, miten biologisia tietoja ja taitoja voi hyödyntää omassa arjessa ja yhteiskunnassa sekä osaa perustella näkemyksiä biologisen tietämyksen pohjalta. Oppilas osallistuu lähiluonnon vaalimisprojektiin, sen toteuttamiseen ja tulosten raportointiin.” Lukion opetussuunnitelmassa painottuu vision 2 mukainen näkökulma erityisesti laaja-alaisen osaamisen tavoitteessa yhteiskunnallisen osaamisen, kulttuuri-osaamisen ja ympäristöosaamisen alueilla (LOPS, ss. 234-235). Opetussuunnitelmassa todetaan esimerkiksi ”Opetus auttaa opiskelijaa tekemään kestäviä valintoja arkielämässä sekä soveltamaan biologista tietoa eettisyyttä vaativissa pohdintoissa” (s. 235).

Vision 3 yleinen tavoite on voimistaa oppijoiden kykyä toimia kestävässä kehityksen edistämiseksi (Sjöström ym., 2017). Tämä tulee huomioon otetuksi, kun opetus on esimerkiksi holistista, eli siinä yhdistyvät kestävyuden ekologinen, sosiaalinen ja taloudellinen näkökulma, ja kun se on moniarvoista eli erilaisia näkemyksiä hyväksyvää (pluralism) sekä toimintaorientoitunutta (esim. Olsson ym., 2022; Sinakou ym., 2020). Käytännön opetustilanteissa tavoitteiden saavuttaminen ja arviointi riippuvat kuitenkin eri oppiaineen painotuksista (Borg ym., 2012; Uitto & Saloranta, 2017). Opetus voi toteutua esimerkiksi

myös laaja-alaisina tai monialaisina oppimiskokonaisuuksina yhdessä muiden oppiaineiden kanssa (Hienonen ym., 2022; Sjöström ym., 2024). Jotta opetus edistäisi toimintakompetenssin muodostumista, siihen tulisi liittyä oppijoita voimaannuttavia, esimerkiksi paikallista näkyvyyttä saavaa toimintaa yhdessä koulun ulkopuolisten toimijoiden kanssa. Visiossa 3 tulisi arvioida erityisesti oppijoiden kestävyyttä edistävän toimintakompetenssin rakentumista (Sjöström ym., 2018, vrt. Luku 2), mutta perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa tätä ei mainita kohteena, joista annetaan arvosanoja. Lukion biologian BI3 kurssilla sisältönä on selkeästi ”toiminta kestävän elämäntavan edistämiseksi ja ympäristön tilaan vaikuttaminen” (OPH, 2019, s. 238), mutta tätä ei mainita arvioinnin kohteena (s. 236).

### *Arvot, asenteet ja toimintakompetenssi arvioinnin kohteena*

Opetuksen tarkoituksena on luoda perusta oppijan yleissivistyksen kehittymiselle opetuksen arvoperustan mukaisesti (OPH, 2014, 2019). Arvot voivat vaikuttaa muihin affektiivisiin tekijöihin, kuten motivaatioon, kiinnostukseen, asenteisiin ja tunteisiin. Vaikka opetuksella on affektiivisiä tavoitteita, niistä ei anneta arvosanoja. Oppijoita ei siis arvioida summatiivisesti sen perusteella, miten hän asennoituu esimerkiksi biologian opetukseen, vaan sen perusteella, miten hyvin hänen osaamisensa täyttää asetetut opetussuunnitelmalliset kriteerit. Affektiivisten tavoitteiden saavuttamisen formatiivinen arviointi on kuitenkin erittäin tärkeä osa opetusta. Arvioinnin avulla opettaja saa tietoa siitä, miten oppijat ovat kiinnostuneet biologian opetuksessa käsiteltävistä aiheista ja miten he ovat opetuksen tuloksena kyenneet rakentamaan esimerkiksi kestävään kehitykseen liittyvää arvomaailmaa.

Opetussuunnitelman kuvaukset eivät ole aina selkeitä suhteessa luonnontiedekasvatuksen visioihin 2 ja 3, koska kompetenssi kuvataan affektiivisena tavoitteena (arvot ja asenteet, OPH, 2014, s. 384). Esimerkiksi perusopetuksen biologian päättöarvioinnin kriteereissä tavoite ”*Innostaa* oppilasta syventämään kiinnostusta luontoa ja sen ilmiöitä kohtaan sekä vahvistamaan luontosuhdetta ja ympäristötietoisuutta” on affektiivinen tavoite. Arvioinnin kohteena on kuitenkin ”Luontosuhteen ja ympäristötietoisuuden merkityksen hahmottaminen”. Perusopetuksen arvioinnin kriteereissä hyvää osaamista kuvaa tässä tapauksessa se, että ”Oppilas osaa *perustella* esimerkkien avulla, miten luonnossa toimitaan kestäväällä ja luonnon monimuotoisuutta säilyttävällä tavalla”.

Tällöin tavoite on yhtenevä tiedekasvatukseen vision 2 kompetenssitavoitteen kanssa ja edellyttää argumentointitaitoja (vrt. alaluku 2.3).

Toisessa tapauksessa affektiiviseksi tavoitteeksi mainitaan ”Ohjata oppilasta tekemään eettisesti perusteltuja valintoja ja arvioinnin kohteeksi mainitaan ”Eettisen kysymysten pohdinta” (OPH, 2014, s. 384). Perusopetuksen arvioinnin kriteereissä hyvää osaamista tässä tapauksessa kuvaa se, miten ”Oppilas osaa hyödyntää biologian tietoja ja taitoja ihmiseen ja ympäristöön liittyvien vastuukysymysten arvioinnissa ja esittää perusteluja eettisesti kestäville valinnoille”. Myös tässä määritelmässä on vastaavuus tiedekasvatukseen vision 2 mukaisten argumentointitaitojen kanssa.

Kolmannessa tapauksessa affektiivinen tavoite on ”Innostaa oppilasta vaikuttamaan ja toimimaan kestävän tulevaisuuden rakentamiseksi.” (OPH, 2014, s. 384). Arvioinnin kohteena on tällöin ”Kestävän tulevaisuuden rakentamisen tiedot ja taidot” ja hyvää osaamista kuvaa, miten ”Oppilas osaa kuvata, miten toimitaan kestävän tulevaisuuden rakentamiseksi”. Tässä arvotavoitteessa periaatteessa ilmenee vision 3 mukainen transformatiivinen oppiminen (esim. Sterling, 2018) ja toimintakompetenssin tavoite (vrt. Sjöström & Eilks, 2018).

Edellä mainituissa esimerkeissä affektiivisellä alueella kuvatut tavoitteet ovat osin ajattelu- argumentointi- ja toimintatavoitteita ja liittyvät luonnontiedekasvatukseen visioihin 2–3 (vrt. Luku 2). Argumentointitaidon määrittely opetussuunnitelmien taitotavoitteisiin voisi edistää nykyistä paremmin luonnontiedekasvatukseen vision 2 tavoitteita. Argumentointitaitojen kehittäminen on mainittu myös UNESCO:n (2017) kestävyyskasvatukseen tavoitteissa (mm. tavoitealue 15, suomennokset kirjoittajien): ”Opiskelija osaa esittää argumentteja luonnon monimuotoisuuden häviämistä aiheuttavaa toimintaa vastaan” ja ”Opiskelija osaa argumentoida biologisen monimuotoisuuden säilyttämisen puolesta monin tavoin, mukaan lukien ekosysteemipalvelujen merkityksen ja luonnon itseisarvon”. Argumentointi on mukana myös GreenComp-oppimiskehityksen kriittisen ajattelun osaamisalueessa (Bianchi ym., 2022). Vertailu myös osoittaa, että biologian opetussuunnitelmat eivät selkeästi ohjaa opetusta vision 3 mukaiseen transformatiiviseen oppimiseen ja toimintakompetenssin vahvistamiseen (vrt. Mogensen & Schnack, 2010; Sjöström & Eilks, 2018, 2020; Sterling, 2018) eivätkä määrittele tapoja toimintakompetenssin arvioimiselle. Toimintakompetenssi on kuitenkin keskeinen myös kestävän kehityksen kas-

vatuksen viitekehyksissä osana laajempaa kestävyyskompetenssien määrittelyä (Bianchi ym., 2022; UNESCO, 2017).

Kestävyyskasvatuksen oppiainekohtaista määrittelyä olisi tarpeen jatkaa opetussuunnitelmatasolla. Kompetenssikuvausten sisällöt voidaan poimia kunkin oppiaineen tavoitteista huomioon ottaen oppiaineiden sisältöjen erityispiirteet (subject-specific educational content knowledge, Hudson ym., 2023, Gericke, 2022). Kestävyysopetuksen oppiainekohtaisen kehittämisen kannalta olisi tällöin tarpeellista tutkia, mitkä ovat opetuksen oppiainekohtaiset tavoitteet ja sisällöt ja mitkä opetusmenetelmät soveltuvat kestävyysopetukseen eri oppiaineissa. Tutkimustiedon perusteella toimintaorientoitunut opetus edistää kestävyteen liittyvän toimintakompetenssin rakentumista vaikuttamalla kestävyysarvojen ja -taitojen omaksumiseen edistämällä tiedollisen osaamisen lisäksi myös taitoa, halua ja tahtoa toimia kestävyuden puolesta, sitoutumista kestävyysajatteluun sekä kokemuksia omasta pystyvyydestä toimia kestävyuden toteutumiseksi (vrt. Mogensen & Schnack, 2010; Saloranta, 2107; Sass, 2020 a; Sass ym., 2023b; Uitto ym., 2015). Toimintakompetenssi ei erotu selkeästi myöskään perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelmien laaja-alaisissa osaamiskokonaisuuksissa (OPH 2014; OPH 2019). Opetussuunnitelmissa kestävyysnäkökulmaa käsitellään toisaalta koko opetussuunnitelmaa leikkaavana teemana ja toisaalta laaja-alaisen osaamisen yhtenä ulottuvuutena, mutta ei ole selvää, mikä niiden keskinäinen suhde on.

### *Kestävän kehityksen kasvatuksen kompetenssikuvausten haasteet opetuksessa*

Pyrkimykset suunnata koulutusta kestävä kehityksen kasvatuksen osaamiskuvausten perusteella on ollut haasteellista (mm. Mulà ym., 2022; Vare ym. 2019; Vare 2020). Osaamiskuvauksia on pidetty käsitteellisesti epäselvinä (Mulà ym., 2022), alkaen vaihtelevista nimikkeistä (vrt. taulukko 2.5a, b) opetuksen toteutukseen (Vare ym. 2019; Vare 2020). Mulàn ym. (2022) mukaan kompetensseista käytävää keskustelua ovat dominoineet länsimaiset näkökulmat ja sellaiset tavoitteiden määrittelyjen ja tulkinnat, joissa ei ole otettu riittävästi huomioon sitä, miten sosiaaliset ja institutionaaliset rakenteet voivat haitata tai helpottaa oppijoiden kestävyteen liittyvien valmiuksien kehittämistä. Kestävyyskasvatuksen kompetenssikuvauksissa esitetyt tavoitteet ovat jääneet epäselviksi monille koulutusalan ammattilaisille, jotka



vastaavat kestävyysalan koulutuksesta (Vare ym., 2019). Oppimistuloksiin ja niiden arviointiin liittyvien (Farioli ym., 2022) kompetenssitavoitteiden soveltaminen on koettu ongelmalliseksi käytännön opetustilanteissa (Vare, 2022). Kuten luvussa 3.1 todetaan, käsitteellinen epäselvyys ja päällekkäisyys ovat myös suomalaisten opetussuunnitelmien haasteena. Eräs keskeinen kysymys on, ovatko kestävä kehityksen osaamistavoitteet osa laaja-alaista osaamista vai tähtääkö myös laaja-alainen osaaminen transformatiiviseen oppimiseen ja kestävyysmurrokseen (vrt. Uitto, painossa).

Huolimatta kestävä kehityksen ja kestävä kehityksen kasvatuksen haasteista ja moniulotteisuudesta, nykyisin ollaan yhtä mieltä siitä, että kehityksen kannalta oleellista on yhteiskunnallinen kestävyysmurros (esim. Kestävyyspaneeli, 2020; UN, 2019). Kestävyysmurroksessa toimitaan ekologisesti, sosiaalisesti ja taloudellisesti siten, että voidaan rajoittaa biodiversiteettikatoa ja ilmastonmuutosta, vähentää sosiaalisia ja taloudellisia ongelmia sekä sopeutua tapahtuviin muutoksiin vahvan kestävyuden idean mukaisesti (Davidson, 2014). Kestävä kehitys kuuluu nykyisin eurooppalaisten perusopetuksen ja lukiokoulutuksessa eri oppiaineiden, kuten luonnontieteiden, opetussuunnitelmiin olennaisena osana laaja-alaisten kokonaisuuksien lisäksi (European Commission, 2024). Tämä merkitsee, että oppiaineiden opetuksella ja ainedidaktiikalla on edelleen tärkeä rooli koulujen kestävyyskasvatuksessa.

Kestävä kehityksen kasvatuksen vaikuttavuuden tutkimuksessa tarvitaan sekä yksilö-, ryhmä- että organisaatiotason tutkimusta. Samoin tarvitaan tutkimusta siitä, miten kestävä kehityksen kasvatuksen tavoitteet otetaan huomioon opetussuunnitelmien tasolla, ja miten tavoitteet toteutuvat käytännön opetuksessa. Oppiainekohtaisen ja monialaisten kestävyysteemojen opetusta tulisi tutkia erityisesti siltä kannalta, miten opetus vahvistaa oppijoiden kompetenssia toimia kestävyuden edistämiseksi. Tällöin on myös otettava huomioon, että tutkimuksen kohteena kansainväliset kestävyyskasvatuksen käytännön osaamiskehukset (GreenComp, UNESCO) ovat rakenteltaan ja teoriataustaltaan erilaisia verrattuna oppijoiden toimintakompetenssin tukemista korostavaan, Bildung-teoriaan nojautuvaan didaktiikkaan.

### 3.3 Arvioinnin eettinen kestävyys

#### *Eettisen arvioinnin periaatteet*

Koulun toiminnassa ja opettajan ammatissa on omat eettiset velvoitteensa. Opettajan velvoitteisiin kuuluvat ammatillinen pätevyys, rehellisyys, luottamuksellisuus, objektiivisuus, yleinen turvallisuus ja oikeudenmukaisuus, joiden kaikkien tarkoituksena on säilyttää ja turvata yleinen luottamus (Schmeiser, 1995). Arviointi tukee opettajan työtä ja oppijan oppimista sekä toimii kehittämisen välineenä, joten ei ole yllättävää, että arviointitoimintaan kuuluu kolmannes opettajien ammatillisesta ajasta (Popham, 1991). Arvioinnilla on suuri vaikutus opiskelijoiden oppimiseen ja motivaatioon (White, 2009) sekä opetus suunnitelman kehittämiseen ja opetusprosessiin (Harlen, 2007; Lyon, 2013). Myös perusopetuksen opetus suunnitelman perusteissa (OPH, 2014) sekä lukion opetus suunnitelmassa (OPH, 2019) painotetaan oikeudenmukais-ta ja eettistä arviointia.

Tärkeimpiä arviointia ohjaavia eettisiä periaatteita ovat autonomia, haitan tai vahingon välttäminen, oikeudenmukaisuus, hyvän tekeminen ja uskollisuus (Taulukko 3.1). Näiden eettisten periaatteiden tulisi sisältyä myös luonnontiede-kasvatuksen visioiden 1–3 mukaiseen biologian opetukseen. *Autonomia* eli itsemääräämisoikeus on kyseenalaistamaton arvo. Se määritellään opettajan ja oppijan kyvyksi osallistua määrätietoisesti, vastuullisesti ja kriittisesti kou-lussa ja sen ulkopuolella toimintaan, joka tähtää yksilön voimaantumiseen ja sosiaaliseen muutokseen (Jiménez Raya ym., 2017). Yksilöllä on oikeus auto-nomiaan, mutta myös velvollisuus kunnioittaa toisten autonomiaa ja välttää toisten autonomian rajoittamista. Opettajalla on paljon pedagogista valtaa, joten hänen tulisi miettiä esimerkiksi sitä, miten hän ottaa huomioon arviointi-tulosten ymmärtämiseen ja tulkintaan liittyvät kysymykset sekä oppijan ja op-pijan perheen yksityisyyden arviointikeskustelussa ja koetulosten käsittelyssä.

Haitan tai vahingon välttämisen periaate (Taylor & Nolen, 2005) ohjeistaa ar-vioimaan oppijoita siten kuin haluaisi itseä arvioitavan (Payne, 2003) ja kehot-taa välttämään sellaista toimintaa, joka voi johtaa oppijan tai kouluyhteisön muun jäsenen fyysiseen, emotionaaliseen, psyykkiseen, seksuaaliseen tai hen-kiseen vaurioon (National Association of State Directors of Teacher Education and Certification [NASDTEC], 2021).

*Taulukko 3.1. Eettisen arvioinnin ohjaavat periaatteet (vrt. Atjonen, 2007a, b, 2013).*

<i>Ohjaava periaate</i>	<i>Merkityksen tiivistys</i>	<i>Lähteet</i>
Autonomia	Arvioijan itsenäisyys suhteessa sidosryhmiin; arvioitavan itsemääräämisoikeus	Jiménez Raya ym., (2017); Upreti ym., (2010)
Haitan tai vahingon välttäminen	Arvioitavan suojele suhteessa arvioinnin seuraamuksiin	Atjonen, (2007a, b); NASDTEC, (2021); Taylor & Nolen, (2005)
Oikeudenmukaisuus	Arvioinnin rehellisyys, läpinäkyvyys ja tasapuolisuus; arvioitavan ansionsa mukainen kohtelu; yhteisen hyvän ja oikeudenmukaisen yhteiskunnan edistäminen	Atjonen, (2007a); Green ym., (2007); NASDTEC, (2021); Schwandt, (2007)
Hyvän tekeminen	Systemaattinen tarkastelu suhteessa arviointikriteereihin; arvioitavan kunnioittaminen; vastavuoroisuus	Atjonen, (2007b); NASDTEC, (2021)
Uskollisuus	Luotettavuus ja totuudellisuus; lupauksien pitäminen ja lojaalius; vuorovaikutus	Atjonen, (2007b); NASDTEC, (2021)

Arvioinnin kielteiset seuraamukset ovat useimmiten psyykkisiä haittoja, kuten menestymispaineiden aiheuttama stressi, häpeä osaamattomuudesta ja huonoudesta tai uusimisvaatimusten aiheuttama mielipaha. Muita haittoja ovat esimerkiksi vaikutukset oppijoiden keskinäisiin suhteisiin sekä oppijan minäkäsitykseen ja oppimiseen, jos oppijan koenumero kerrotaan koko luokalle, oppijaa tai hänen läheistään arvostellaan muiden kuullen tai arviointimenetelmiä käytetään yksipuolisesti ottamatta huomioon kaikkia osaamisalueita. Vahinkoa opettajan ja oppijaan väliselle luottamukselle voi aiheutua siitä, että opettaja esimerkiksi sisällyttää kokeeseen koealueeseen kuulumattomia asioita tai hyväksyy oppijan suorituksen, joka alittaa alimman hyväksytyyn arvosanan. Tällaiset menettelyt osoittavat oppijoiden oikeuksien ja tarpeiden kunnioittamisen puutetta. Haitan tai vahingon vähentämiseksi arvioinnissa tulee ottaa huomioon oppijoiden tarpeet, käsitellä oppijoita kunnioittavasti ja sisällyttää arviointiin oikeudenmukaisuuden periaate (Airasian, 2005).

Oikeudenmukaisuus tarkoittaa reiluuutta, kohtuullisuutta ja tasapuolisuutta (Atjonen 2007a; NASDTEC, 2021). Oikeudenmukaisessa arvioinnissa oppijan osaamista koskeviin arviointipäätöksiin eivät vaikuta hänen sukupuolensa, ikänsä, etninen taustansa, sosioekonominen asemansa tai muu arvioinnin kannalta epäoleellinen seikka. Oikeudenmukaisuudesta seuraa, että kuhunkin oppijaan suhtaudutaan hänen ansionsa mukaan. Oppijoiden oikeudenmukaiseen arviointiin sisältyy myös koetulosten 'infektoitumisen' välttäminen. 'Infektoituminen' tarkoittaa tässä sitä, että koetuloksiin vaikuttavat muut seikat kuin oppijoiden osaaminen. Kaikkien virallisten arviointien, mukaan lukien koearvosanat, pitäisi kuvastaa vain sitä, missä määrin oppijat hallitsevat opetuksen tavoitteet (Green ym., 2007). Jos opettajat muuttavat arvosanoja tai osaamisen pisteytystä esimerkiksi oppijoiden ponnistelun tai käyttäytymisongelmien tai oman tai oppijoiden väsymyksen vuoksi, kokeen arviointitulokset eivät osoita oppijan tieto- ja taitotasoa. Opettaja voi myös tietoisesti tai tiedostamatta aiheuttaa arvioinnin 'infektoitumista' antamalla heikosti menestyville oppijoille alempia ja hyvin menestyville korkeampia arvosanoja kuin he ansaitsevat. Oppijoiden arvosanat voivat siis 'infektoitua' erilaisten tekijöiden vaikutuksesta, jolloin ne eivät kuvasta todellista oppimista.

Hyvän tekemisen periaate sisältää vastavuoroisuuden ja armollisuuden näkökulman etenkin silloin, kun oppijat ovat nuoria ja heidän itsetuntonsa kehitys on herkässä vaiheessa (Atjonen, 2007a). Oppijan, opettajan ja vanhempien yhteisissä arviointikeskusteluissa vastavuoroisuuden ajatus on tärkeä pohdittaessa yhdessä toiminnan kehittämisen tarpeita ja päätettäessä löydösten perusteella ongelmanratkaisutavoista (NASDTEC, 2021).

Uskollisuudella tarkoitetaan luotettavuutta ja totuudellisuutta. Se edellyttää lupausten pitämistä ja lojaalisuutta (Atjonen, 2007a). Mitä pidempikestoinen opettajan ja oppijan välinen suhde on, sitä keskeisempi merkitys on opettajan ja oppijan välisellä vuorovaikutuksella. Opettaja saattaa joutua ristiriitaitilanteeseen esimerkiksi opetussuunnitelmassa kuvattujen ja koulussa yhteisesti sovittujen arviointiperiaatteiden ja kotien erilaisten odotusten yhteensovittamisessa. Oppijasta tulee tällöinkin pitää huolta eikä häntä saa jättää huomioon ottamatta (NASDTEC, 2021). Opettajan tulee kyetä kuuntelemaan, tekemään selventäviä kysymyksiä ja aistimaan ilmapiirin sosiaalisia viestejä. Se tarkoittaa toisten huolten kantamiseen osallistumista, huolehtimista, asettumista toisten asemaan ja heidän tarpeisiinsa vastaamista. Tärkeää on, että opettaja

toimii autonomisesti ja arvioi, mikä on oikein tai sopivaa missäkin tilanteessa sekä kantaa vastuu teoistaan.

### *Palautteen antamisen ja vastaanottamisen etiikka*

Palaute on muutoksen ja oppimisen olennainen osa. Koulutuksessa sillä tarkoitetaan opettajan ja oppijan välistä tilannetta ja suoritusta koskevaa palautteenantoa, jonka tarkoituksena on tukea oppijan oppimista (Hätönen & Romppanen, 2007). Kun biologian oppimisen palautteessa arvioidaan oppijan biologian osaamista luonnontieteellisen yleissivistyksen ja biologian oppiaineen perusasioiden näkökulmasta, palaute sisältää luonnontiedekasvatuksen vision 1 näkökulman (science literacy, Roberts, 2007). Kun palautteessa tarkastellaan sitä, miten oppija hahmottaa biologisen tiedon merkityksen omassa elämässään, palaute sisältää luonnontiedekasvatuksen vision 2 näkökulman (science for all, Roberts, 2011). Tarkasteltaessa oppijan roolia kestävän kehityksen edistämiseksi biologisen tiedon näkökulmasta tavoitetaan luonnontiedekasvatuksen vision 3 (science for transformation) näkökulma ja sen perusajatus oppijan toimintakompetenssin (action competence, Mogensen & Schnack, 2010) kehittämisestä.

Palautteessa osoitetaan oppijalle hänen osaamisensa taso (Hattie & Timperley, 2007) kuvaamalla oppimistavoite, oppijan osaaminen arviointihetkellä suhteessa tavoitteisiin sekä se, mitä oppijan tulee tehdä saavuttaakseen asetetut tavoitteet (Atjonen, 2007a, b). Palaute ohjaa virheellisten käsitysten ja toimintojen korjaamista sekä kannustaa oppijaa (Aalto, 2004). Palautteen antajan ja saajan tulisi keskustella palautteen sisällöstä myönteisessä ilmapiirissä. Vaikeistakin tilanteista voi löytää myönteistä sanottavaa ottamalla huomioon, että opiskelija on yrittänyt parhaansa ja edistynyt suhteessa omin tavoitteisiinsa (Ranne, 2006). Yksittäistä oppijaa koskeva korjaava palaute tulisi antaa aina kahden kesken. Mikäli samasta aiheesta on keskusteltu aikaisemminkin, olisi hyvä käyttää toisenlaista lähestymistapaa (Rasila & Pitkonen, 2009). Jotta palauteprosessi olisi hyödyllinen, opettajan tulisi kerätä palautetta säännöllisesti, ja palautteen tulisi olla monipuolista ja tarpeeksi runsasta (Ranne, 2006).

*Oppimista edistävä palaute* sitoutuu meneillään olevaan oppimisprosessiin. Se on yksilöllistä, oppijaa tukevaa ja vuorovaikutuksellista (Atjonen, 2007a). Sen avulla oppija pystyy muuttamaan toimintaansa tavoitteiden suunnassa. Vuo-

rovaikutuksellinen palaute auttaa ymmärtämään toisen näkemyksiä, jolloin vältetään väärinymmärryksiä ja mielen pahoittamista (Ranne, 2006). Palautteen avulla oppija saattaa ymmärtää omat vahvuutensa ja heikkoutensa sekä huomata itsessään uusia piirteitä (Ahonen & Lohtaja-Ahonen, 2014), jolloin itsetuntemus voi parantua ja itseluottamus lisääntyä (Burnett & Mandel, 2010). Palaute voi myös virittää motivaatiota (Lindblom-Ylänne ym., 2009), sillä se viestii opettajan olevan kiinnostunut oppijan oppimisesta ja halusta edistää sitä (Ahonen & Lohtaja-Ahonen, 2014). Uuden taidon opettelussa palautteen merkitys on suuri, koska oppijan oma tieto- ja taitotaso ei aina riitä taidon kehittämiseen liittyvien kysymysten ratkaisemiseen.

*Oppimista ehkäisevä palaute* on epäselvää, asiayhteydestä irrallista, epäasiallista tai liian kriittistä (Irons, 2008). Huono palaute heikentää oppijan motivaatiota (Räisänen & Frisk, 1996) ja itseluottamusta (Lindblom-Ylänne & Nevgi, 2002), jolloin se voi hidastaa tai estää oppimista (Aalto, 2004). Liian kielteinen palaute voi saada oppijan puolustuskannalle, jolloin palautteen vastaanottaminen vaikeutuu. Oppija voi vetäytyä toiminnasta tai keskeyttää sen, hän voi kokea suorituksen ja tehtävän jatkamisen turhaksi ja suhtautua välinpitämättömästi opiskeluun. Kielteinen palaute voi herättää jopa aggressiivisia tunteita (Lammela ym., 2000).

*Palautemuotoja* ovat suullinen, kirjallinen ja mallikäyttäytymiseen perustuva palaute. Suullinen palaute on tehokasta, kun se annetaan välittömästi prosessin aikana (Atjonen, 2007a). Sen aikana osapuolet tulkitsevat toistensa ilmeitä ja eleitä (Ranne, 2006), joten suulliseen palautteeseen liittyvä sanaton viestintä voi joko vahvistaa tai horjuttaa sanojen tehoa. Vuorovaikutuksen ja vastavuoroisen viestinnän kautta (Atjonen, 2007a, b) opettaja pystyy varmistamaan, että opiskelija ymmärtää palautteen. Kirjallisen palautteen tulee olla yksiselitteistä ja selkeää (Brookhart, 2008), muuten palautteen saaja voi tulkita tekstiä eri tavalla kuin opettaja on tarkoittanut. Palautetta sisältävien merkintöjen tekeminen voi nopeuttaa ja helpottaa palautteen antamista (Nevgi & Lindblom-Ylänne, 2009). Kirjallista palautetta voi antaa myös verkon välityksellä esimerkiksi valmiiksi laaditulla lomakkeella, joka sisältää yleisiä ohjeita, yksilöllisiä ohjeita ja valmiiksi laadittuja vaihtoehtoja, joista opettaja voi valita oikean vaihtoehdon kuvaamaan oppijan suoritusta (Nicol & Milligan, 2006).

*Opettajan rooli palautteen antajana on keskeinen.* Palautteen merkityksestä on hyvä keskustella oppijoiden kanssa, sillä sekä palautteen antamista että

vastaanottamista voi harjoitella. Palautetta tulee antaa vain sen verran kuin oppija pystyy sitä hyödyntämään. Myönteisen ja korjaavan palautteen välillä on hyvä säilyttää tasapaino. Määrän lisäksi palautteen tulisi olla realistista, joten palautteen kautta esitetty muutostarve ei voi olla kovin suuri yhdellä kertaa (Rasila & Pitkonen, 2009). Oppijat reagoivat eri tavalla palautteeseen, joten oppijan persoonallisuus on hyvä ottaa huomioon palautetta annettaessa. Yksilöllinen palaute on tärkeää, koska jokaisen taidot ovat erilaiset. Samanlaisia virheitä tehneille voi palautetta antaa pienryhmissä. Kaikkia koskevan myönteisen palautteen voi antaa yhteisesti, jolloin jokainen hyötyy palautteesta (Kupias ym., 2011). Opettajan tulisi arvioida, millaisista asioista voi antaa henkilökohtaista ja millaisista yhteistä palautetta (Lammela ym., 2000).

### *Eettisen arvioinnin työkaluesimerkki*

Tämän kirjan luvussa 2 kuvatun kestävyysmuutoksen toteuttaminen vaatii kokonaisvaltaisen biologian opetus- ja oppimiskäytänteiden muutoksen. Se koskee myös arvioinnin muutosta testaus- ja koekulttuurista kokonaisvaltaiseen arviointikulttuuriin. Kaikissa arviointitehtävissä ja menettelyissä tulisi ottaa huomioon yhteiskunnallisen kestävyysmuutoksen näkökulmat. Näin menetellen biologian oppimisen arvioinnissa toteutuu luonnontiedekasvatuksen visio 3 (science for transformation) sekä siihen sisältyvä oppijan toiminta-kompetenssin kehittymistä koskeva tavoite (action competence, Mogensen & Schnack, 2010). Taulukossa 3.2 on esimerkki, jonka avulla opettaja voi tarkastella omaa arviointia ja sen eettisyyttä.

Taulukko 3.2. Eettisen arvioinnin analysointikehys (Mukailtu lähteestä Estaji, 2011).

<i>Eettisyys</i>	<i>Määritelmä</i>	<i>Tarkasteltavia kysymyksiä</i>
Oikeudenmukaisuus: reiluus, kohtuullisuus ja tasapuolisuus (Atjonen, 2015; Kunnan, 2000)	Kaikkien oppijoiden arviointi perustuu samaan arviointimenettelyyn ja samoille kriteereille; kaikkien oppijoiden tuloksia tulkitaan samalla tavalla	Onko kaikki arviointiprosessiin kuuluvat näkökulmat otettu arvioinnissa huomioon?
Yhdenvertaisuus (Ouakrim-Soivio ym., 2018 )	Oppijoiden yhdenvertainen mahdollisuus osallistua opetussuunnitelman mukaiseen opetukseen ja oppimiseen sekä arviointikriteerien tarkasteluun; arvosanojen yhdenvertaiset perusteet suhteessa arviointikriteereihin	Mitä tietoja arvioidaan ja miten kriteerit otetaan huomioon arvioinnissa?
Aitous: dialogisuus, vastavuoroisuus, oppijoiden osallisuuden ja osallistumisen kokemukset sekä oppimisen ja arviointiprosessin omistajuus (Guba & Lincoln, 1989; Pääkkönen, 2020)	Oppijat saavat käyttöönsä arviointiprosessin tulokset.	Tunnistavatko oppijat arviointiprosessin perusteella, mitä he osaavat ja pystyvätkö he rakentamaan tämän perusteella omaa identiteettiään?
Koulutuksellinen merkitys (Guba & Lincoln, 1989; Ouakrim-Soivio ym., 2018)	Oppijat saavat näkökulmia koulun ulkopuolisten asioiden ja ilmiöiden ymmärtämiseen.	Osallistuvatko oppijat arviointiprosessiin ja kehittykö heidän käsityksensä koulun ulkopuolisista asioista ja ilmiöistä?
Voimaantumisen (Messick, 1989; Niskanen & Leisku-Johansson, 2020)	Sellaisten arvojen ja tavoitteiden huomioon ottaminen, jotka antavat tietoa arviointitulkin-toihin vaikuttavista tekijöistä ja tulkinnan seurauksista; tulisi seurata arviointiprosessia.	Mitä itse asiassa tapahtuu arvioinnin seurauksena?
Valtasuhteiden kehittyminen (Guba & Lincoln, 1989; Niskanen & Leisku-Johansson, 2020).	Oppijoiden mahdollisuudet toteuttaa niitä muutoksia, jotka arvioinnissa ilmenevät.	Muuttuvatko oppijoiden käsitykset itsestä ja toisista oppijoista; muuttuvatko oppijoiden keskinäiset suhteet ja suhteet opettajaan?



Eettisestä näkökulmasta arvioinnin kehittymisen edellytyksenä on oppijan ja opettajan välisten valtasuhteiden sekä arviointiprosessin oikeudenmukaisuuden, tasapuolisuuden ja eettisten näkökohtien tarkastelu. Opetus on opettajan, oppijan ja oppimistilanteiden välistä vuorovaikutusta ja perustuu opetussuunnitelmien määrittelemiin tiedollisiin, taidollisiin ja affektiivisiin tavoitteisiin. Opetuksen suunnittelu, toteutus ja arviointi on jatkuva prosessi, jonka kehittämiseen sekä opettajien että oppijoiden tulisi osallistua. Arviointiin kuuluu paitsi arvosanan antaminen osaamisesta, myös eettinen ulottuvuus, sillä arviointi muovaa oppijan motivaatiota ja käsitystä itsestään oppijana ja ihmisenä sekä koulusta ja yhteiskunnasta arvioinnin toteuttajina. Motivaatio edistää oppimista ja osaamista, ja opettajalla on tärkeä rooli oppijoiden motivaation ylläpitäjänä muun muassa formatiivisen ja summatiivisen arvioinnin kautta. Arvioinnin tulee sekä edistää oppijan etua että olla oppijan osaamista kriittisesti arvioivaa ja oikeudenmukaista. Arvioinnin päämäärät voivat siten olla ristiriitaisia ja aiheuttaa jännitteitä opetukseen. Oppijalle on tärkeää tietää, että opettaja on johdonmukainen myös ratkoessaan oppijoihin ja kouluun vaikuttavia haasteita noudattamalla hyviä tapoja ja eettisiä reunaehtoja.

## **OSA 2: UUDET NÄKÖKULMAT BIOLOGIAN KÄSITTEIDEN JA TEEMOJEN OPETUKSEEN**

### **Luku 4. Biologian ilmiöiden ymmärtäminen**

ILONA SÖDERVIK

Suomessa on 2020-luvulla keskusteltu vilkkaasti lasten ja nuorten osaamisesta, heikentyneistä PISA-tuloksista ja tähän liittyen koulujen digiloikasta sekä opettajankoulutuksen järjestelyistä. Keskustelussa kritisoidaan muun muassa kouluissa nopeasti toteutettuja ja hatarasti tutkimusnäyttöön perustuneita uudistuksia, koulutukseen kohdistuneita talousleikkauksia, eriarvoisuuden lisääntymistä ja kouluihin suunnattuja lyhytkestoisia kehittämisprojekteja, joiden on epäilty syövän edellytyksiä ja aikaa perustietojen ja -taitojen oppimiselta. Yhä enemmän onkin alettu keskustella siitä, miten kouluissa voitaisiin tukea pitkäjänteistä opiskelua sekä laajenevaa ja syvenevää osaamista. Ympäröivä maailma ja sen haasteet ovat voimakkaasti muuttuneet ja siksi onkin pohdittava, mitä korkeatasoinen osaaminen tarkoittaa tässä ajassa ja millaista osaamista kouluissa halutaan edistää nyt ja tulevaisuudessa. Tämä voi tarkoittaa jossain määrin keskittymistä nykyistä vahvempaan ydinasioiden opetukseen ja oppimiseen myös biologiassa. Samaan aikaan tulisi löytää keinoja, joilla koulussa opittu johtaisi käyttäytymisen ja tekojen muuttumiseen tavoiteltaessa esimerkiksi nykyistä kestävämpiä yhteiskuntia. Oppimisen mekanismit ovat monilta osin varsin perinteisiä, eikä oikotietä monimutkaisten asioiden oppimiseen ole toistaiseksi keksitty. Uusi teknologiakin on siitä syystä järkevää valjastaa ensisijaisesti palvelemaan syvällistä oppimista, vaikeiden käsitteiden opiskelua ja asioihin paneutumista. Tässä luvussa käsitellään uusimman tutkimustiedon pohjalta biologian oppimisen ja opetuksen peruskysymyksiä, erityisesti käsitteellistä oppimista, sekä esitellään joitakin pedagogisia menetelmiä ja teknologioita sen tukemiseksi.

## 4.1 Käsitteiden, käsiteverkostojen ja systeemisen ymmärryksen rooli biologian oppimisessa

Biologian oppimisessa ja opetuksessa, kuten muissakin oppiaineissa, keskeinen perusyksikkö ja ajattelun työkalu on käsite. Käsite-käsitteellä on erilaisia määritelmiä riippuen tutkimustraditiosta, jonka kautta sitä tarkastellaan (ks. Machery, 2009). Sanat ”käsite” ja ”käsitys” esiintyvät joissakin yhteyksissä lähes synonyymeina. Tässä luvussa sanalla ”käsite” kuitenkin viitataan tieteellisiin käsitteisiin ja käsityksillä taas oppijoiden henkilökohtaisiin tietoihin ja uskomuksiin. Biologian oppimisessa ja oppimistutkimuksessa käsitteen merkitys voidaan ymmärtää siten, että se on merkityksen tai merkityksiä sisältävä sana tai termi luonnonlaille, ilmiölle tai asialle, joka halutaan syystä tai toisesta määritellä. Käsitettä ei siis tule ymmärtää kapeasti pelkkänä terminä tai sanana, kuten toisinaan tehdään, vaan tulee ymmärtää, että käsitteet kätkevät merkityksiinsä usein kokonaisia maailmoja. Käsitteiden avulla pyritään löytämään yhteisesti jaettuun määritelmiä ja tulkintoja konkreeteille asioille, mutta myös hankalasti hahmotettaville, abstrakteille asioille. Ilman käsitteitä olisi mahdollista toimia vain kulloinkin havaittavissa olevan informaation varassa ja mahdotonta keskustella asioista tai ilmiöistä, joita ei tiettyssä hetkessä voi käsin kosketella tai nähdä. Keskustelu aivan arkipäiväisimmistäkin asioista (esim. ”koti”, ”hedelmä”, ”kasvi”) on mahdotonta, ellei ensin hahmoteta, mitä kyseiset käsitteet tyypillisesti tarkoittavat.

Vuorovaikutuksen onnistumisen kannalta on olennaista, että osapuolilla on jokseenkin samanlainen käsitys kommunikoinnin kohteena olevista asioista ja ilmiöistä sekä niitä kuvaavista käsitteistä. Huolimatta pyrkimyksestä jakaa yhteinen ymmärrys, jokaisella on käsitteistä oma henkilökohtainen mielensisäinen mallinsa, jota tutkimusperinteestä riippuen voidaan kutsua *skeemaksi* tai *muistiedustukseksi* eli mentaaliseksi representaatioksi (Johnson-Laird, 1980, 1983; Lehtinen ym., 2016). Skeema ei yleensä edusta mitään tarkkaa, yksittäistä muistikuvaa asiasta tai tapahtumasta, vaan on yleistys. Skeemat ovat siis yleistyneitä tietorakenteita, joiden avulla voimme jäsentää, tulkita ja ennakoita asioiden ja tapahtumien etenemistä ja siten ne ovat keskeisiä erilaisten toimintojen ohjaamisessa ja taitojen kehittämisessä.

Ihmisillä on tyypillisesti varsin erilainen skeema myös sellaisista tavallisista biologian käsitteistä kuin ”kasvi” tai ”eläin”. Henkilökohtaiset mielensisäiset mallit sanasta ”eläin” ovat siis toisistaan poikkeavia, mutta tyypillisesti

perusymmärrys eläimen käsitteestä on suhteellisen yhteinen. Tämä mahdollistaa sen, että ihmiset voivat keskinäisessä kommunikaatiossaan käyttää käsitettä ”eläin” onnistuneesti, koska ymmärrys käsitteen keskeisistä elementeistä ja määritelmästä on riittävän yhtenäinen ja yhteisesti jaettu. Esimerkiksi eläimen käsitteeseen liittyvään skeemaan tyypillisesti sisältyy oletus elävästä olennot, joka kykenee liikkumaan ja joka tarvitsee happea, vettä ja ravintoa elääkseen. Toisaalta käsite ei ihmisen mielessä ole kuitenkaan vain luettelo ominaisuuksia, vaan jotakin tätä kokonaisvaltaisempaa ja kytkeytyneempää. Näin ollen esimerkiksi koira ymmärretään edelleen koiraksi, vaikka se olisi menettänyt yhden raajan ja vaikka kaikki tyypillisesti koiran käsitteeseen liitetyt oletukset eivät siis toteutuisi (Amin, 2019; Carey, 1985). Toimintakontekstista riippuu, millainen skeema huomion kohteena olevasta käsitteestä aktivoituu ja miten se näkyy ajattelussa ja toiminnassa. On siis merkityksellistä, millaisissa tilanteissa uusia tietoja ja taitoja opetellaan. Vaihtelemalla oppimisympäristöä ja oppimistehtäviä, on mahdollista tukea monipuolisten muistiedustusten ja laajan ymmärryksen ja osaamisen rakentumista. Mentaalisten representaatioiden ja skeeman käsitteiden tunteminen on opettajan työn sekä tämän kirjan luvun 4 ymmärtämisen kannalta olennaista, jotta opitaan tuntemaan käsitteellisen oppimisen perusluonneta.

”Eläin”-sanana käyttö esimerkkinä ohjaa tarkastelemaan varsin konkreettista käsitettä, mutta käsite voi olla myös jokin abstrakti asia, kuten ”oppiminen”, josta jokaisella oppijalla ja opettajalla on omia, henkilökohtaisia, usein kokemusperäisiä oletuksia, uskomuksia ja tulkintoja. Oppiminen onkin esimerkki käsitteestä, jonka määrittely voi näennäisesti tuntua yksinkertaiselta ja selvältä, mutta osoittautuu hankalaksi tehtäväksi käsitteen monitasoisuuden vuoksi (Säljö, 2009). Opettajan oppimiseen liittyvien käsityksien merkitystä hänen pedagogisissa valinnoissaan on tutkittu runsaasti ja tiedetään, että opettajan huomion kiinnittymistä ja pedagogisia valintoja ohjaavat hänen käsityksensä kognitiivisiin prosesseihin liittyvistä käsitteistä kuten ”oppiminen”, ”opettaminen” ja ”arviointi” (Blömeke ym., 2015; Borko ym., 2008; Heinonen ym., 2023; Shavelson & Stern, 1981). Lisäksi biologian opetuksessa opettajan toimintaan luonnollisesti vaikuttaa biologian tieteenalakohtainen käsitteistö.

Käsitteiden välisiä suhteita voidaan tarkastella hierarkkisesti. Biologian oppiaineessa onkin mahdollista tunnistaa myös niin sanottuja makrokäsitteitä, joilla tarkoitetaan käsitteverkostojen solmukohdissa olevia käsitteitä, joita voisi kuvata kielikuvalla ravintoverkon avainlajeista (Boshuizen ym., 2020).

Tällaiset käsitteet ovat erityisen olennaisia tietyn oppisisällön tai oppiaineen ymmärtämisessä. Yleistasolla biologiassa tällaisia käsitteitä ovat esimerkiksi: ”elämä”, ”energia”, ”eliö” ja ”sopeuma”. Käsitteet siis linkittyvät toisiinsa muodostaen varsin monimutkaisia käsitejärjestelmiä, verkostoja, joissa käsitteiden väliset suhteet ovat tietyn ilmiön ymmärryksen näkökulmasta keskeisiä (Kokkonen, 2017). Tätä käsitejärjestelmän sisältämien vuorovaikutussuhteiden ymmärrystä kutsutaan systeemiseksi ymmärrykseksi tai systeemiseksi ajatteluksi (Mayr, 1997; Yoon ym., 2018). Systeemiselle ymmärrykselle on kirjallisuudessa erilaisia määritelmiä, mutta perusajatuksen mukaan se mahdollistaa käsitteiden välisten suhteiden ymmärtämisen ja esimerkiksi takaisinkytkentöjen ja syy-seuraus-vuorovaikutusten hahmottamisen sekä näiden avulla tapahtumien ennakkoinnin (vrt. Luku 2, Taulukko 2.2).

Systeeminen näkökulma lävistää biologian oppiaineen ja biologisten käsitteiden oppimisen mikrotasolta makrotasolle, makromolekyyliden ja solujen tarkastelusta ekosysteemien biodiversiteettiin. Se korostuu biologian oppimisessa verrattuna muihin luonnontieteisiin, sillä biologiset ilmiöt ja systeemit ovat monimutkaisuudessaan ja dynaamisuudessaan erittäin haastavia ymmärtää (Hmelo-Silver ym., 2007; Mayr, 2004). Monimutkaistuvassa maailmassa systeeminen ymmärrys (tai systeeminen ajattelu, järjestelmäajattelu, systems thinking; vrt. Luku 2, Taulukko 2.2) onkin jokaisen kansalaisen perustaito, johon myös koulutyössä tulisi keskittyä (Barak ym., 1999; Verhoeff ym., 2008, 2018). Esimerkiksi käsitteet ”ekosysteemi”, ”fotosynteesi” tai ”evoluutio” ovat biologian ilmiöitä, systeemejä, joiden ymmärtämiseksi tarvitaan runsaasti muiden käsitteiden ja niiden keskinäisten suhteiden ymmärtämistä. Samaan aikaan nämä ilmiöt kytkeytyvät useisiin eritasoisiiin ilmiöihin, ja systeeminen ymmärrys on edellytys esimerkiksi monimutkaisten kokonaisuuksien hahmottamiselle (Vančugovienė ym., 2023). Tästä esimerkkinä voi olla vaikkapa fotosynteesi, joka liittyy moniin muihin suuriin ilmiöihin kuten ilmastonmuutokseen ja evoluutiomekanismien kautta biodiversiteettiin ja luontokaatoon (Palmberg ym., 2017; Yli-Panula ym., 2024). Luonnontieteiden oppimisessa systeeminen ymmärrys on tunnistettu tärkeäksi oppimistavoitteeksi (Brandstädter ym., 2012; Palmberg ym., 2017; Uitto, 2012a; Yli-Panula ym., 2024), jota ei kuitenkaan koulutyössä aina riittävästi edistetä (Gilissen ym., 2020b).

Erityisesti perusopetuksen opetussuunnitelmissa (OPH, 2014) korostetaan nykyään ilmiölähtöisyyttä tiukan oppiainejaon sijaan, koska on muun muas-

sa ajateltu, että yksittäiset oppiaineet eivät tarjoa riittävästi keinoja tarkastella monimutkaisia ilmiöitä ja systeemejä (Aarnio-Linnanvuori, 2018). Ilmiöläh-töisyydessä todellisen maailman ilmiöihin ja niitä koskeviin käsitteisiin kuten ”terveys” tai ”ilmastonmuutos”, paneudutaan kokonaisvaltaisesti, usein sys-teemisesti, monesta näkökulmasta ja usean oppiaineen kautta. Tämä tarkoittaa, että biologian oppitunnilla opiskeltavia käsitteitä tulisi tarkastella eri mit-takaavaisten ilmiöiden kautta ja kytkeä pelkkien biologisten ilmiöiden sijaan laajempaan kontekstiin (Gilissen ym., 2020b). Eri oppiaineiden näkökulmien yhdistämisen kautta tietyn ilmiön ymmärtämisestä ajatellaankin syntyvän ai-kaisempaa kokonaisvaltaisempi maailmankuva.

Käsitteiden merkitys ajattelun ja kommunikoinnin työvälineinä on tiedeoppi-misessa keskeinen, sillä niiden avulla tavoitellaan yhteisesti jaettua ymmärrys-tä. Aina tässä ei suinkaan onnistuta ja onkin paljon käsitteitä, joiden määritte-ly on keskeneräistä ja jopa epämääräistä. Käsitteet eivät myöskään ole pysyviä tai muuttumattomia, vaan uuden tutkimustiedon avulla luodaan uusia käsit-teitä ja olemassa olevat käsitteet saavat uusia tulkintoja ja merkityksiä. Tämä käsitteiden muotoutuminen on osa tieteen ”itseään korjaavaa luonnetta” ja tieteellisen tiedon kulmakivi. Käsitteet ja käsitejärjestelmät ovatkin ihmisten tulkintojen tuotoksia ja usein peilaavat myös aikaan ja kulttuuriin kytkeyty-neitä arvoja. Käsitteet on näin ollen hyvä mieltää dynaamisiksi ajattelun työ-välineiksi, joita voidaan tarkentaa, määritellä uudelleen ja korjata esimerkiksi uuden tutkimustiedon avulla. Tämän kirjan luvussa 5 kuvataan ”kestävyys”-käsitteen määritelmän muuttumista aiheeseen liittyvän ymmärryksen li-sääntyneitä (ks. myös Luku 2). Seuraavassa alaluvussa 4.2 kuvataan ihmisen käsitteellisen ymmärryksen kehittymiselle tyypillisiä prosesseja.

## 4.2 Arkitiedosta kohti tieteellistä ymmärrystä

Jo pikkulapsilla on tarve ja sisäinen taipumus rakentaa ymmärrystä ulkopuoli-sesta maailmasta ja pyrkii tämän tiedon avulla ennakoimaan ympäristössään tapahtuvia muutoksia (Vosniadou & Brewer, 1992). Lasten aloittaessa koulu-taipaleensa heillä onkin jo runsaasti koulussa opiskeltaviin käsitteisiin ja oppi-sisältöihin liittyviä aikaisempia käsityksiä, kokemuksia ja uskomuksia. Tämä koskee erityisesti ympäristö- ja luonnontietoon liittyviä asioita, joista lapsi on tehnyt monenlaisia havaintoja ja rakentanut ymmärrystään jo ensimmäisistä elinvuosistaan lähtien. Tätä esiymmärrystä biologian tieteellisistä käsitteistä

kutsutaan toisinaan kirjallisuudessa käsitteellä “naiivi biologia” (Carey, 1985; Inagaki & Hatano, 2013). Naiivi biologia tarkoittaa tieteellisessä mielessä epätäydellisiä, jopa virheellisiä, käsityksiä biologisista ilmiöistä, joilla kuitenkin voi olla selitysarvoa arkipäivän toimissa.

Evoluution näkökulmasta ihmisrajalle on ollut etua voimakkaasta sisäisestä tarpeesta rakentaa ehjä ja looginen kokonaiskuva siitä, miten asiat ovat ja mitä on odotettavissa. Tämä hyödyllinen taipumus aiheuttaa kuitenkin myös haasteita. Kokonaiskuva ja ehjää tarinaa maailmasta rakennetaan saatavilla olevista palasista, vaikka ne olisivat vajavaisia tai sisältäisivät ristiriitoja. Usein ihmiset sortuvat myös nopeaan, intuitiiviseen päätöksentekoon analyttisyyden kustannuksella (Kahneman, 2011). Nämä ihmisen ajattelulle tyypilliset taipumukset johtavat muun muassa siihen, että syy-seuraussuhteisiin liittyviä oletuksia tehdään usein heppoisin perustein ja ympäristöä tulkitaan usein sortuen varsin räikeisiin yksinkertaistuksiin ja ajatusvinoumiin. Tällaista omiin havaintoihin ja kokemuksiin perustuvaa tietoa kutsutaan arkikäsitteiksi tai arkitiedoksi.

Arkitieto poikkeaa tieteellisestä tiedosta olennaisesti, sillä nimensä mukaisesti se on syntynyt arkihavaintojen ja -kokemusten myötä eikä siten ole kattavaa, systemaattista, loogista tai yleistettävää vaan usein yksittäistapauksiin perustuvaa ja subjektiivista. Arkitiedon avulla on usein helppoa ja tehokasta operoida niin sanotuissa rutiinitilanteissa, jotka eivät edellytä tiedon soveltamista. Usein arkihavainnot johtavat kuitenkin systemaattisiin yksinkertaistuksiin tai väärinymmärryksiin. Tätä oppimisen haastetta kuvataan tarkemmin myös seuraavassa alaluvussa (*Ennakkokäsitykset ja niiden kahtalainen rooli oppimisessa*). Kouluopetuksen yksi keskeinen tehtävä on auttaa oppijoita muokkaamaan vajavaisia tietorakenteitaan ja virhetulkintojaan kohti vallitsevaa tieteellistä ymmärrystä.

Arkkokokemusten ja arkitiedon rinnalla tarvitaan tieteelliseen tutkimukseen perustuvaa tietoa (Ohlsson, 2009). Myös monet biologian ilmiöt ovat sellaisia, joiden ymmärtäminen ei ole mahdollista ilman systemaattisia tutkimusasetelmia, sillä tieteelliset käsitteet voivat olla suorastaan arkijärjen vastaisia. Tieteellisen tiedon tuottaminen edellyttää tyypillisesti tarkkoja tutkimusasetelmia ja -menetelmiä, siis erityisjärjestelyjä. Yhtä lailla tieteellisten käsitteiden oppiminenkin edellyttää “erityisjärjestelyjä”, nimittäin oppijan systemaattista ponnistelua ja tukea opetusjärjestelyistä.

Tieteellisten käsitteiden abstrakti luonne ei sinällään ole ihmisen ajattelulle vierasta. Tämä on osoitettu pikkulapsilla tehdyissä tutkimuksissa, joiden mukaan jo pienet lapset pystyvät tietynlaiseen käsitteelliseen ajatteluun (Murnikov & Kask, 2021; Taylor, 1988). Ongelma on ennemminkin ihmisille tyypillisessä pyrkimyksessä sitoa ja selittää omien kokemusten varassa myös sellaisia tieteellisiä ilmiöitä, joita aistihavainnot eivät tavoita tai tavoittavat vajavaisesti.

Tieteellisen tiedon oppimisessa olennaista on myös tiedon luonteen ymmärtäminen (Hofer, 2019). Tämä tarkoittaa esimerkiksi sen ymmärtämistä, miten tietoa tuotetaan, millaiseen tietoon voi luottaa ja miten tiedon luotettavuutta voidaan arvioida. Tätä tietoa kutsutaan epistemiseksi tiedoksi ja ihmisten henkilökohtaisia käsityksiä tiedon luonteesta kutsutaan epistemologisiksi uskomuksiksi. Epistemologiset uskomukset voivat olla yleisiä, tieteenalakohtaisia tai tiettyyn ilmiöön liittyviä ja niillä on tutkitusti yhteys käsitteelliseen ymmärrykseen ja oppimiseen (Greene ym., 2016; Hofer, 2019) sekä muun muassa siihen, millaisia opiskelustrategioita oppijat hyödyntävät (Lin ym., 2012).

Biologian (kuten kaiken tieteellisen tiedon) oppimisessa onkin tärkeää oppia arvioimaan sitä, miten tietoa tuotetaan, millainen tieto on uskottavaa tai millaiseen tietoon vaikkapa ilmastomuutoksesta uutisoitaessa voi luottaa (Thacker & Sinatra, 2022). Oppijoiden on siis toisaalta ymmärrettävä tieteellisen tiedon itseään korjaava luonne eli se, että uuden tutkimustiedon perusteella aikaisempia tieteellisiä totuuksina pidettyjä asioita voidaan muokata (Lundholm, 2019). Toisaalta heidän on myös samalla opittava tunnistamaan tieto, jonka perustelut ovat niin vakuuttavia, että sen paikkansa pitävyyteen voi luottaa, vaikka tutkimuksista usein raportoidaan jopa ristiriitaisia johtopäätöksiä (Sinatra ym., 2014).

Samalla tavoin kuin tieteellisen tiedon tuottaminen myös tieteellisen tiedon oppiminen vaatii usein erityisjärjestelyjä ja tähän myös kouluopetuksessa pyritään. Opettajan onkin hyvä auttaa oppilaita tulemaan tietoiseksi arkitiedon ja tieteellisen tiedon välisistä perustavanlaatuisista eroista ja tukea tiedon luotettavuuden arvioinnin oppimista (Aleknavičiūtė ym., 2023). Tämän ymmärryksen merkitys on voimakkaasti korostunut viime vuosina niin sanotussa totuuden jälkeisessä ajassa, kun esimerkiksi media tarjoilee meille runsaasti joko epähuomioissa epätieteellistä misinformaatiota tai tarkoitushakuisesti tieteelliseksi tiedoksi naamioitua disinformaatiota, ja tieteellisten faktojen tunnistaminen on käynyt aikaisempaa vaikeammaksi (Sinatra & Hofer, 2021;



ks. myös Luvut 1, 2 ja 6). Seuraavaksi tarkastellaan keskeisiä psykologiassa ja oppimistutkimuksessa tunnistettuja selityksiä sille, miksi erityisesti luonnontieteellisten käsitteiden oppiminen on haastavaa. Näiden tekijöiden ymmärtäminen voi tukea opettajan tarkoituksenmukaisten pedagogisten valintojen tekemistä.

### *Ennakkokäsitykset ja niiden kahtalainen rooli oppimisessa*

Arkijärjellä ajateltuna oppijoiden ennakkotiedon uskotaan pääsääntöisesti helpottavan uuden oppimista. Usein näin ei kuitenkaan ole. Koska uusi tieto rakentuu aikaisempien tietojen varaan ja niitä muokaten, ennakkokäsitykset ovat erottamaton osa uuden tiedon oppimisprosessia (Bransford ym., 2000). Tästä seuraa, että ennakkokäsityksillä on oppimisprosessissa kahtalainen rooli. Yhtäältä ne helpottavat uuden oppimista silloin, kun ne ovat tieteellisen ymmärryksen kanssa sopusoinnussa. Kun oppija esimerkiksi jo ennestään tietää, että kasvin oman ravinnon (sokerin) valmistaminen eli yhteyttäminen tapahtuu kasvin lehden viherhiukkasissa, kloroplasteissa, on suhteellisen yksinkertaista täydentää tätä ennakkotietoa lehtivihreän eli klorofyllin käsitteellä.

Toisaalta ennakkokäsitykset voivat kuitenkin myös huomattavasti hankaloittaa uuden tiedon oppimista ja toisinaan jopa estää sen (Morrison & Lederman, 2003; Pekel & Hasenekoğlu, 2020), jos ne koskettavat yksittäistä faktatietoa syvällisempiä tietorakenteita eivätkä ole yhteneviä vallitsevan tieteellisen ymmärryksen kanssa. Tämä johtuu siitä, että tietorakenteiden kivijalassa, niin sanotuissa kehysteorioissa (Vosniadou, 1994) piilevät väärinymmärrykset tai kapeat käsitykset ovat usein huomattavan hankalia muokata (Carey, 2000) (ks. alaluku 4.3). Näin on erityisesti silloin, kun virheellinen käsitys ei liity yksittäiseen faktatietoon, niin sanottuun nippelitietoon, vaan koskettaa syvemmällä olevia, perustavanlaatuisia tietorakenteita ja tapaamme jäsentää maailmaa. Tällaisesta oppimisesta on usein kyse pyrkiessämme ymmärtämään esimerkiksi evoluutioon liittyviä prosesseja tai kyseenalaistamaan ihmiskeskeisen maailmankuvan (ks. alaluvut 4.3 ja 5.2).

Konstruktivistisen oppimiskäsityksen keskeisiä seurauksia on ollut lisääntynyt ymmärrys oppijan ennakkokäsitysten merkityksestä oppimisessa. Oppiminen tarkoittaa sitä, että uutta ymmärrystä rakennetaan linkittämällä uusia asioita henkilökohtaisiin, olemassa oleviin tietorakenteisiin. Merkityksellinen tieto on

mahdollista painaa mieleen, merkityksetön katoaa mielestä. Opiskeltavat asiat siis suodattuvat oppijoiden ennakkokäsitysten kautta ja lomittuvat ja sitoutuvat oppijoiden mielisissä yksilöllisesti heidän jo olemassa oleviin tietorakenteisiinsa. Seurauksena on, että jokaisen oppijan ymmärrys jäsentyy ja rakentuu hieman eri tekijöistä ja jäsentyy ja linkittyy eri tavoin riippuen henkilökohtaisista kokemuksista, arkitiedosta, uskomuksista ja ennakkokäsityksistä. Biologian oppimista pitkään tutkinut Susan Carey onkin todennut, että opetuksen suunnittelussa erittäin keskeistä on ymmärrys siitä, millaisia virheellisiä ennakkokäsityksiä oppilailla tyypillisesti on opiskeltavista sisällöistä (Carey, 2000, s. 14). Tämä on hänen mukaansa jopa tärkeämpää kuin tieto siitä, millaisia aukkoja oppijoilla on tiedoissaan, sillä aukot on yksinkertaisempaa paikata kuin muokata epätieteellisiä, usein syvään juurtuneita, ennakkokäsityksiä.

Opettajan on siis tärkeää tuntea oppijoidensa ennakkokäsityksiä ja omaan tieteenalaansa liittyvä tyypillinen arkitieto sekä niiden sisältämät yleiset väärintymmärrykset voidakseen ottaa ne huomioon pedagogisissa valinnoissaan. Tutkimus on osoittanut, että ihmisillä on taipumus juuttua aikaisempiin käsityksiinsä myös silloin, kun tarjolla on vakuuttavaa tietoa niiden muokkaamiseksi (Kunda, 1990). Aikaisemmat käsitykset vaikuttavat oppimiseen niin sanotun vahvistamisillusion kautta (Kahneman, 2011). Tämä tarkoittaa sitä, että ihminen usein pyrkii valikoimaan hänen aikaisempia käsityksiään vahvistavaa tietoa ja vastaavasti sivuuttamaan ja välttelemään informaatiota, joka on ristiriidassa hänen senhetkisten käsitystensä kanssa (Chinn & Brewer, 1993). Tämä valikoivuus vaikuttaa myös havainnointiin. Valikoivan tarkkaavaisuuden takia huomio kohdistuu mielessä voimakkaimmin aktivoituneisiin asioihin, ja usein aikaisempien käsitysten kanssa ristiriidassa oleva informaatio yksinkertaisesti jätetään huomiotta.

Tutkimusten perusteella tiedetään, että näitä tieteellisen selityksen oppimista hankaloittavia ennakkokäsityksiä on kaikenikäisillä ja asiantuntijuuden eri vaiheessa olevilla oppijoilla alle kouluikäisistä yliopisto-opiskelijoihin (Kiviluoma & Södervik, painossa; Mikkilä-Erdmann, 2001; Potvin ym., 2015; Shtulman, 2017; Vosniadou, 1994). Edes eri alojen kokeneet toimijat eivät pääse näistä vahvoista ajatusvinoumista ja epätieteellisistä käsityksistä täysin eroon (Masson ym., 2012; Potvin, 2017; Shtulman & Legare, 2020). Kokenut henkilö antaa kyllä luotettavalla varmuudella oikean vastauksen tehtävissä, joissa noviisi usein epäonnistuu, mutta kokeneenkin reaktioaika on pidempi, kun kyseessä on haaste, joka aktivoi ensin tyypillisen naiivin ajatteluprosessin

(Shtulman & Legare, 2020). Jopa asiantuntijalla ajatellaan siis toisinaan ensin aktivoituvan naiivin tavan lähestyä ongelmaa, mutta kokemuksen tuoman varmuuden avulla hän niin sanotusti estää eli inhiboi virheellisen vastauksen ennen tehtävään vastaamista (Mason & Zaccoletti, 2020). Tästä nopeasta korjausliikkeestä henkilö ei välttämättä itse ole edes tietoinen, mutta ilmiö on tunnistettu neurotieteellisiä menetelmiä hyödyntävissä tutkimuksissa (Masson ym., 2012). Seuraavissa alakappaleissa kerrotaan tarkemmin siitä, mitkä ihmisen ajatteluun ja oppimiseen liittyvät seikat selittävät sitä, että biologian käsitteitä koskevia epätieteellisiä ennakkokäsityksiä muodostuu käytännössä jokaiselle oppijalle.

### *Epäintuutiivisuus biologian oppimisen haasteena*

Epätieteellisten ennakkokäsitysten syntymiseen ja niiden sitkeyteen on useita oppimistutkimuksessa tunnistettuja syitä. Yksi tieteellisten käsitteiden oppimista hankaloittava tekijä on se, että tieteelliset käsitteet ovat usein intuitiivisen arkijärjen vastaisia ja esimerkiksi aistihavaintomme antavat ilmiöstä tieteellisen ymmärryksen vastaista tai vain hyvin vajavaista informaatiota (Shtulman & Legare, 2020). On miltei mahdotonta ymmärtää monia tieteellisiä tosiseikkoina pidettyjä asioita (esimerkiksi kasvien ja eläinten perustavanlaatuisen ero ravinnonhankinnassa) käyttämällä vain niin sanottua ”maalaisjärkeä” eli ilman tavoitteellisen opiskelun tuottamaa tieteellisten seikkojen ymmärrystä (esimerkiksi ymmärrys yhteyttämisestä).

Intuitiivisilla malleilla tarkoitetaan psykologiassa ja oppimistutkimuksessa sellaisia synnynnäisiä tai opittuja, yleisesti jaettuja malleja selittämään ja ennakoimaan esimerkiksi ympäristömme syy-seuraussuhteita, jotka eivät kuitenkaan ole tieteellisen selityksen mukaisia (Shtulman, 2017; Shtulman & Legare, 2020). Ehkäpä tyypillisin esimerkki intuitiivista ajattelua haastavista biologian ilmiöistä on evoluutio ja sen mekanismit (Evans, 2013), joiden oppimiseen liittyviä eri tasoisia haasteita kuvataan myös alaluvussa 4.3. Myös lasten käsityksiä siitä, mitkä ominaisuudet tekevät jostain oliosta elävän, on tutkittu runsaasti erilaisissa konteksteissa samansuuntaisin tuloksin (Carey, 1985; Shtulman, 2017). Tutkimusten mukaan olion kyky liikkua itsenäisesti on ominaisuus, jota valtaosa pienistä lapsista pitää keinona jakaa oliot elolisiin ja elottomiin. Näin ollen vain harvat alle kouluikäiset lapset mieltävät kasvit eläviksi olennoiksi, mutta esimerkiksi liikkumaan kykenevät robotit

heidän mielestään yleensä ovat sitä. Myöhemmin alakoulussa lapset saavat selville, että elollinen kytkeytyykin hankalammin havaittaviin ja opittaviin ominaisuuksiin kuten kasvaminen ja lisääntyminen. Tämän seurauksena lapset viimeistään kouluopetuksessa ymmärtävät kasvien olevan elollisia olentoja, mutta robotin sen sijaan olevan eloton, koska se ei ikäänny, tarvitse ravintoa, kasva, lisäännä eikä kuole.

Toinen esimerkki intuitiivisen päättelyn ongelmasta koskee lasten lisäksi nuoria ja suurta osaa aikuisistakin. Nuoret ja aikuiset tekevät päivittäin useita omaa ja huollettaviensa terveyttä ja elintapoja koskevia valintoja. Näiden arkipäiväisten päätösten taustalla vaikuttavat ihmisten ymmärrys ja käsitykset kyseisistä terveyteen liittyvistä aihepiireistä. Näistä teemoista on tunnistettu monia yleisiä väärinymmärryksiä, jotka toisinaan johtavat terveyttä heikentäviin päätöksiin (Kaufman ym., 2008). Monet näistä virhekäsityksistä koskevat mikrobeja, niiden aiheuttamia sairastumisia tai hoitoon käytettyä lääkitystä kuten antibiootteja (Shtulman, 2017). Aihepiirin ymmärtämisen tekee hankalaksi muun muassa se, että mikrobit ovat paljaalla silmällä näkymättömiä ja aiheuttavat sairastumisia vasta aikaviiveen jälkeen, mikä hankaloittaa altistuslähteen tunnistamista. Tarvitaan tieteellisten käsitteiden ja melko monimutkaisten mekanismien oppimista, ennen kuin voidaan ymmärtää esimerkiksi maidon pastöroinnin, antibioottien tarkoituksenmukaisen käytön tai rokottamisen merkitys yksilön oman terveyden ja kansanterveyden kannalta.

Kuten edellisissä luvuissa on kuvattu, ihmisillä on voimakas tarve selittää tapahtumia ympärillään ja siten löytää ja luoda yhteyksiä konkreettisten asioiden välille. Edellä mainittujen seikkojen takia on myös erittäin yleistä syyttää virheellisesti flunssaan sairastumisesta kylmässä ilmanalassa vietetyn ajan aiheuttamaa vilustumista (Johnson & Bungum, 2013). Intuitiivisten mallien mukaisesti toimiminen voi siis johtaa epäedullisiin, joskus jopa vaarallisiin valintoihin. Käytännön tilanteissa nopea, intuitiivinen ajattelu pyrkii usein tarjoamaan nopeita ratkaisuja ja yhteyksiä asioiden välille, mutta oppinut ajattelija ei automaattisesti sorru näihin houkutuksiin, vaan hän pystyy tietoisesti ottamaan käyttöön hitaampia, analyttisiä ajattelun prosesseja.

## *Aistihavaintojen ja kielen rooli epätieteellisten ennakkokäsitysten vahvistajana*

Ihmiset keräävät havainnoimalla, erityisesti näköaistiaan hyödyntäen, jatkuvasti tietoa ympäröivästä maailmasta, ja siten oppimista tapahtuu paitsi muodollisissa ja järjestetyissä tilanteissa myös jokapäiväisessä elämässä tavallisten kokemusten ja kohtaamisten kautta. Ihmislajin evoluution näkökulmasta arkihavainnointiin perustuvalla oppimisella on ollut ratkaisevan tärkeä merkitys. Tieteellisten käsitteiden oppimisen näkökulmasta tällä on kuitenkin seurauksia, sillä arkielämän oppiminen ei tarjoa kovinkaan hedelmällisiä ja objektiivisiä mahdollisuuksia havainnoida usein abstraktien ja monimutkaisten ilmiöiden kokonaisuuksia (Taylor, 1988). Samaan aikaan ihmisillä on taipumus kiinnittää huomio erityisesti sellaisiin ärsykkeisiin, jotka vahvistavat heidän aikaisempia käsityksiään ja tietojaan minkä seurauksena ihmisten on yleensä hyvin työlästä muuttaa aikaisempia käsityksiään, vaikka tähän kannustavaa tutkimustietoa olisikin tarjolla (Kunda, 1990; Sinatra ym., 2014).

Tiedeoppimisen tutkimuskontekstissa tunnetaan useita tällaisia esimerkkejä, joissa oppimisen haasteeksi muodostuvat oppijoiden arkipäivän havaintoihin perustuvat virhetulkinnat. Yksi konkreettinen esimerkki tästä koskee kasvien kasvua. Lähes jokainen oppii jo pienenä lapsena kokemuksen kautta, mitä huonekasville tapahtuu, jos sitä unohdetaan kastella. Usein omien havaintojen kautta opitaan, että sopiva kastelu on kasvin selviytymisen kannalta ratkaiseva tekijä. Vastaavasti saatetaan oppia, että ravinteiden puute saa kasvin kärsimään ja ravinteiden lisääminen multaan voi elvyttää riutuvan kasvin. Samalla tavoin ei kuitenkaan yleensä hahmoteta, mikä on auringonvalon merkitys kasvin kasvun kannalta. Tästä syystä niin lapset kuin aikuiset ja jopa biologian yliopisto-opiskelijat mieltävät usein veden ja mahdollisesti mullan tarjoamat ravinteet kasvin ”ruuaksi” tai ravinnoksi (Mikkilä-Erdmann, 2001; Södervik ym., 2015). Tämä arkipäivän havaintojen rajallisuuteen perustuva tyyppilinen virhekäsitys sivuuttaa sen seikan, että kasvit poikkeavat eläimistä perustavanlaatuisella tavalla. Ne valmistavat itse ravintonsa yhteyttämällä eli muokkaamalla auringon valoenergian avulla vedestä ja hiilidioksidista rypälesokeria eli glukoosia ja happea. Tämän *yhteyttämisprosessin* eli fotosynteesin tuloksena syntynyt rypälesokeri toimii paitsi kasvin itsensä ravintona, se myös tarjoaa ravinnon koko ravintoketjulle ja sen kaikille tasoille. Yhteyttämisprosessin joitakin osasia voidaan siis havainnoida, mutta samaan aikaan olennaisilta osin prosessi tapahtuu ”piilossa”, jolloin ymmärrys yhteyttämisprosessin

kokonaisuudesta voi pelkkiin aistihavaintoihin nojattaessa muodostua perustavanlaatuisesti vajavaiseksi, jopa virheelliseksi. Tiedeoppimisen tutkijat ovat tunnistaneeet näitä tyyppillisiä oppimisen haasteita runsaasti eri tieteenaloissa ja esimerkkejä biologian oppiaineessa avataan tarkemmin seuraavassa alaluvussa 4.3.

Kommunikoidessa muiden kanssa tarvitaan yleensä yhteistä kieltä ja siksi kielen rooli tieteen tekemisessä ja oppimisessa on olennainen (Gelman & DeJesus, 2018). Psykologi ja kielitieteilijä Lev Vygotski (1896–1934) edisti aikanaan oppimisen teorioita merkittäväällä tavalla korostamalla sosiaalisen vuorovaikutuksen ja kielen roolia oppimisessa. Vygotski (1994) painotti ”arkikäsitteiden” ja ”tieteellisten käsitteiden” olennaisia eroja ja sitä, kuinka tärkeää tämä on ottaa huomioon opetuksessa. Opettaja voi opetuskeskusteluissa kannustaa oppijoita sanoittamaan aikaisempia käsityksiään ja siten tulemaan niistä tietoisiksi. Samalla opettajan on hyvä kiinnittää huomiota omiin tapoihinsa kommunikoida tarkoituksenmukaisella tavalla erilaisille oppijoille (McMahon, 2012). Toisinaan ihmisillä on kuitenkin vakiintunut tapa käyttää kieltä ristiriitaisesti ja usein vastoin hyvin tiedettyä tieteellistä totuutta. Usein tämä tapahtuu tiedostamatta. Kielikin voi siis sekä tukea käsitteellistä oppimista että hankaloittaa sitä (Gelman & DeJesus, 2018).

Tietyllä käsitteellä voi siis olla erilaisia tulkintoja riippuen kontekstista, jossa sitä käytetään. Tämä ei ihmisten välisessä kommunikaatiossa useinkaan ole ongelma, koska myös kielenkäytön ”säännöt” ovat yhteisesti jaettuja arkielämän tilanteissa. Esimerkki tällaisesta tilanteesta on vaikkapa päivittäisessä kielenkäytössä oleva ilmaus auringon ”laskemisesta” ja ”nousemisesta”, vaikka todellisuudessa vuorokaudenaikojen vaihtelun tiedettäisiin johtuvan maapallon pyörimisliikkeestä oman akselinsa ympäri eikä suinkaan siitä, että aurinko liikkuisi suhteessa maapalloon. Myös asiantuntijat, kuten edellisessä esimerkissä vaikkapa maantieteilijät, käyttävät kieltä tällä tavoin ja usein käsitteillä onkin luonnontieteellisessä kontekstissa tai vaikkapa biologian luokahuoneessa eri merkitys kuin päivittäisessä kommunikoinnissa.

Käsitteillä voi myös olla useita erilaisia merkityksiä kontekstin mukaan, mikä hankaloittaa käsitteiden oppimista ja joustavaa käyttöä. Yksi esimerkki tällaisista käsitteistä on energia, jolla on useita jokseenkin erilaisia kontekstiin kytkeytyneitä merkityssisältöjä riippuen siitä, käytetäänkö käsitettä fysiikan tai biologian oppitunnilla vai esimerkiksi lounasravintolassa tai ystävien kanssa

keskustellessa. Vygotskin (1994) mukaan koulun keskeinen tehtävä onkin sosiaalista oppijat tieteen käsitteistöön ja auttaa heitä tunnistamaan ero kahden käsitemaailman, tieteen ja arjen välillä. Opettajan on tärkeää olla tietoinen näistä käsitteiden erilaisista käyttötavoista ja samalla ymmärtää, että oppilaat eivät välttämättä pysty sujuvasti toimimaan erilaisissa kielellisissä konteksteissa ja liikkumaan niiden välillä (Wiser & Amin, 2001). Sujuvan vuorovaikutuksen ja kommunikoinnin harjoittelu luonnontieteiden luokkahuoneissa onkin yksi keskeinen osaamistavoite (McMahon, 2012; Mercer-Mapstone & Kuchel, 2017).

### 4.3 Käsitteellisen ymmärryksen rakentuminen ja käsitteellinen muutos biologian oppimisen tavoitteina

Käsitteellisen ymmärryksen rakentumisessa erotetaan usein kaksi vaatavuudeltaan erilaista oppimisen muotoa. Käsitteellinen ymmärrys voi rakentua olemassa olevia *tietorakenteita täydentäen eli lisäten* tai *niitä muokaten ja uudelleen rakentaen* (knowledge enrichment vs. knowledge restructuring) (Carey, 1991; Vosniadou, 2012; Vosniadou & Ioannides, 1998). Tietorakenteiden täydentämistä kuvataan usein mielikuvalla talon rakentamisesta, jossa tiiliä (faktatietoa) ladotaan jo paikalleen asetettujen tiilien päälle. Tiedon uudelleenrakentaminen taas viittaa oppimisprosessiin, jossa olemassa olevia rakenteita joudutaan uudelleen järjestelmään ja purkamaan, joskus kivijalkaan saakka, ennen kuin tieteellisen ymmärryksen saavuttaminen aiheesta on mahdollista. Tätä tietorakenteiden perustavanlaatuisia muokkaamista kutsutaan käsitteelliseksi muutokseksi. Käsitteellinen muutos on vaativa oppimisen muoto, jossa oppija muokkaa olemassa olevia tietorakenteitaan ja käsityksiään ja rakentaa siten uudenlaista tulkintaa maailmasta (Posner ym., 1982; Potvin ym., 2020; Vosniadou, 2013; Vosniadou & Ioannides, 1998). Edellä kuvattuja oppimisen tasoja ja muotoja on kasvatuspsykologiassa kuvattu myös käsitteiden ”assimilaatio” ja ”akkommodaatio” avulla (Piaget, 1970).

Käsitteellisen muutoksen tutkimustradition syntyemiselle merkittävää oli Thomas Kuhnin (1962) tieteellisen vallankumouksen ajatus. Tieteellisen vallankumouksen idean mukaan tieteellinen tieto ei lisäännä loogisen kumuloituvasti, vaan toisinaan tiede ajautuu murrosvaiheeseen, jossa olemassa olevat selitysmallit ja käsitteet eivät enää onnistu tyydyttävällä tavalla selittämään ympäröivän maailman ilmiöitä. Tämän seurauksena tiede joutuu kriisiin kaut-

ta murrokseen, jossa vakiintunut tapa tarkastella tiettyä ilmiötä muuttuu perustavanlaatuisella tavalla – tapahtuu siis vallitsevan ajattelutavan eli paradigman muutos. Paradigman muuttuessa olemassa olevat käsitteet saavat uusia merkityksiä ja usein tarvitaan uusia käsitteitä selittämään olennaisella tavalla muuttunutta lähestymistapaa (ks. myös Luku 1). Tämä oivallus on ollut käsitteellisen muutoksen tutkimustradition lähtösäys. Käsitteellisen muutoksen tutkimustraditio keskittyy pääasiassa tarkastelemaan oppijayksilön ymmärryksen kehittymistä, mutta analogisia vallankumouksia tapahtuu myös tiedeyhteisöjen tasolla. Esimerkkejä paradigman muuttumisesta biologiassa ovat vaikkapa evoluutioteorian kehittyminen, soluteorian syntyminen ja DNA:n kaksoiskierakerakenteen selviäminen. Nämä muuttivat ratkaisevalla tavalla tapoja selittää ja ymmärtää monia näennäisesti tunnettuja ilmiöitä. Käsitteellistä muutosta on tutkittu kasvatustieteessä ja psykologiassa viime vuosikymmeninä runsaasti erityisesti fysiikan, biologian, kemian, matematiikan ja historian konteksteissa (Inagaki & Hatano, 2013; Merenluoto & Lehtinen, 2004; Mikkilä-Erdmann, 2001; Roth, 1990; Södervik ym., 2015).

Käsitteellisen muutoksen tutkimustraditiossa on useita toisistaan hieman poikkeavia tulkintoja ja teorioita (Carey, 1991; Chi, 2013; Chi & Slotta, 1993; diSessa, 1993; Vosniadou, 1994, 2013; Vosniadou & Ioannides, 1998). Yhteistä eri näkökulmille kuitenkin on perusidea siitä, että ennakkokäsityksillä on keskeinen merkitys oppimisprosessissa ja usein ennakkotiedoissa on jotain (virhekäsityksiä tai ajattelua rajoittavia kapeita käsityksiä), joka hankaloittaa tai estää uuden oppimista. Aikaisemmissa tutkimuksissa käsitteellinen muutos määriteltiin prosessiksi, jossa epätieteelliset käsitykset korvataan tieteellisillä käsitteillä, mutta nykyinen ymmärrys käsitteellisen muutoksen prosessista on moninaisempi (Potvin, 2017; Potvin ym., 2015). Tutkimuksen perusteella tiedetään, että tietorakenteissa käsitejärjestelmät ovat siinä mielessä kerroksellisia, että samaa ilmiötä voidaan selittää erilaisia käsitteitä ja käsitesysteemejä hyödyntäen (Potvin & Cyr, 2017; Shtulman & Lombrozo, 2016). Sen, mikä käsitesysteemi kulloinkin on käytössä, ratkaisee konteksti ja tilanne, jossa toimitaan. Käytännössä tämä saattaa ilmetä esimerkiksi siten, että oppilaat voivat esimerkiksi koetilanteessa osoittaa ymmärtävänsä tietyn tieteellisen ilmiön, mutta arkipäivän kontekstissa tulkitsevat tilanteen arkikäsitysten avulla. Näi- vit käsitykset siis usein säilyvät tieteellisen ymmärryksen rinnalla tai taustalla ja toisinaan myös aktivoituvat. Opetuksessa olennaista on, että vahvistamalla vallitsevan tieteellisen ymmärryksen rakentumista, oppijalla on käytössään



analyttiseen ajatteluun tarvittavia työkaluja siten, että yhä useammin ja erilaisissa konteksteissa käytössä oleva tieto on tieteellisen mallin mukaista.

### *Tyypillisiä käsitteellisen ymmärryksen haasteita biologian oppiaineessa*

Tiedeopetuksesta kiinnostuneet oppimistutkijat ovat tunnistanee erityisesti luonnontieteiden alalta useita ilmiöitä ja käsitteitä, joiden oppimiseen liittyy tyypillisesti hankaluuksia ja epätieteellisiä käsityksiä. Oppimisen hankaluudet näyttävät olevan varsin samanlaisia eri-ikäisillä ja eri asiantuntijuuden vaiheissa olevilla oppijoilla siitä huolimatta, että oppijat rakentavat ymmärrystään yksilöllisistä lähtökohdista (Södervik, 2016).

Näitä epätieteellisiä harhakäsityksiä kutsutaan kirjallisuudessa usein *virhekäsityksiksi* (misconception) (Pekel & Hasenekoğlu, 2020). Nimitys on usein kuvaava, mutta samalla melkoisen ongelmallinen. Merkittävin virhekäsitys-käsitteeseen liittyvä kritiikki kohdistuu ilmaisun sisältämään oletukseen siitä, että voisimme yksiselitteisesti osoittaa jonkin tiedon oikeaksi ja toisen vääräksi. Tieteellinen tieto on perusluonteeltaan itseään korjaavaa ja pohjautuu senhetkiseen parhaaseen ymmärrykseen tietystä asiasta ilman oletusta siitä, että tilanne olisi ikuisesti muuttumaton (Lundholm, 2019). Periaatteessa tieteellinen tieto tunnustaa, että se, mitä tällä hetkellä pidetään virhekäsityksenä, voi jonain päivänä lisääntyvän tutkimustiedon avulla näyttäytyä tieteellisesti perusteltuna tosiasiana. Lisäksi virhekäsitys-termi synnyttää mielikuvan yksittäisestä epätieteellisestä käsityksestä, jonka poisoppiminen olisi näennäisesti helpolta kuulostava opetuksellinen tavoite. Oppiminen on kuitenkin dynaaminen prosessi ja tietorakenteet luonteeltaan kerroksellisia, jolloin syvällinen oppiminen tapahtuu yleensä vaiheittain ja virhekäsitykset voivat olla osa oppimisprosessia. Kolmas kritiikki liittyy siihen, että pedagogisessa mielessä oppijoiden virhekäsityksiin keskittyminen voi antaa oppijan ajattelulle kielteisen leiman ja heikentää oppijan motivaatiota. Virhekäsitys-termi on kuitenkin käyttökelpoinen ja auttaa tutkijaa tai opettajaa erittelemään oppimisen haasteiden syitä ja seurauksia, kun se määritellään käsitykseksi tai ajattelumalliksi, joka poikkeaa senhetkisestä vallitsevasta tieteellisestä ymmärryksestä (Badenhorst ym., 2015). Tätä määritelmää käytetään myös tässä kirjassa.

Biologian oppimistutkimuksessa tiettyjen käsitteiden oppimiseen liittyvä tutkimus on ollut aktiivista viime vuosikymmenten aikana. Seuraavassa esitellään muutamia runsaasti tutkittuja esimerkkejä käsitteellisen muutoksen haasteista ja tunnistetuista virhekäsityksistä:

1. Ihmisen verenkiertoelimistö – yksinkertaisimmillaan nelilokeroinen sydän ja verisuonisto – on esimerkki oppisisällöstä, joka opiskellaan useaan kertaan alakoulusta lukioon saakka, mutta jonka oppiminen tuottaa haasteita eri-ikäisille oppijoille. Sisällön ymmärtämistä on tutkittu alakouluikäisten (Óskarsdóttir ym., 2011), yläkoulu- ja lukioikäisten (Alkhalwaleh, 2007) sekä yliopisto-opiskelijoiden keskuudessa (Chi, 2005; Michael ym., 2002; Södervik ym., 2017, 2019). Eri-ikäisten oppijoiden käsitykset toki poikkeavat luonnollisesti toisistaan, mutta niistä on löydetty myös huomattavia ja ehkä hämmästyttäviäkin samankaltaisuuksia. Yksi esimerkki on niin kutsuttu ”single-loop” -käsitys eli käsitys, jonka mukaan ihmisen verenkierto olisi yksinkertainen ja muodostuisi yhdestä silmukasta kuten esimerkiksi kaloilla. Yksinkertaisessa verenkierrossa veri kiertää siis vain yhtä ja samaa lenkkiä, ja näin ollen runsas- ja vähähappinen veri pääsevät sekoittumaan keskenään. Ihmisen kaksinkertaisessa, täydellisessä verenkierrossa taas on olennaista, ettei vähähappinen ja runsashappinen veri sekoitu keskenään. Tämä sopeuma on ratkaisevan tärkeä syy ihmisen verenkierron tehokkuuteen. Tutkimuksissa on havaittu, että niin oppilailla (Özgür, 2013), opettajaopiskelijoilla (Pelaez ym., 2005) kuin vielä lääketieteen ensimmäisen vuosikurssin opiskelijoillakin (Badenhorst ym., 2015; Södervik ym., 2017, 2019) on jonkin verran tähän liittyviä virhekäsityksiä. Tämän esimerkin opetus on, että virhekäsityksiä on tunnistettavissa erilaisissa oppimisen konteksteissa ja että opettajan tulee olla varovainen tehdessään oletuksia oppijoiden lähtötaso-osaamisesta.
2. Toinen esimerkki runsaasti eri ikäisten oppijoiden keskuudessa tutkituista ilmiöistä on yhteyttäminen. Ilmiö opiskellaan ensimmäisen kerran jo alimmilla vuosiluokilla ja uudelleen useaan kertaan koulutaipaleen aikana. Tästä huolimatta niin lapsilla kuin opettajaopiskelijoilla ja biologian yliopisto-opiskelijoillakin on havaittu haasteita tämän ilmiön ydinasioiden ymmärtämisessä (Inagaki & Hatano, 2013; Jancaríková & Jancarík, 2022; Mikkilä-Erdmann, 2001; Södervik ym., 2014; Södervik ym., 2015; Wennersten ym., 2020; Yli-Panula ym., 2016). Fotosyntee-

si-ilmion oppimiseen on havaittu liittyvän käsitteellisen muutoksen haasteita monella tasolla ja moneen eri (ala)käsitteeseen liittyen (aine, energia, ravinto, ravinne, omavarainen, toisenvarainen, ohivirtaus jne.) (Vančugovienė ym., 2023). Tyypillinen käsitteellisen muutoksen haaste liittyy sen ymmärtämiseen, mikä merkitys auringon valonenergialla on kasvin kasvamisessa ja yhteyttämisessä. Yhteyttämisprosessin ymmärtäminen kytkeytyy kasvien ja eläinten perustavanlaatuisella tavalla toisistaan eroavaan luonteeseen toisenvaraisina tai omavaraisina elollisina organismeina ja edelleen niiden erilaiseen rooliin ekosysteemissä. Siinä missä eläimet ovat toisenvaraisia, heterotrofeja, kasvit (sekä muut yhteyttävät organismit) tuottavat itse oman ravintonsa ja tuottavat samalla kaiken energian ravintoketjuihin, ollen siis omavaraisia, autotrofeja. Oppimisen haasteiden on myös tulkittu liittyvän siihen, että ihmisillä on tyypillisesti hankaluuksia mieltää kasvien ja eläinten kuuluminen eri, niin sanottuihin, ontologisiin kategorioihin. Ihmisille on ominaista olettaa samankaltaisuutta elollisten olentojen välillä (esimerkiksi siinä missä ihmiset ovat riippuvaisia ulkopuolelta saatavasta ravinnosta, veden ja ravinteiden ajatellaan virheellisesti olevan samassa mielessä kasvin ravintoa). Onkin tyypillisesti vaikeaa oppia, että kasvit tuottavat sekä oman ravintonsa että myös kaiken ravinnon eläimille.

3. Evoluutio-käsitteen oppimista on niin ikään tutkittu runsaasti erilaisissa konteksteissa Suomessa ja muualla (esim. Evans, 2013; Inagaki & Hatano, 2013; Kiviluoma & Södervik, painossa; McLure ym., 2020; Yli-Panula ym., 2017). Evoluutioteoria on ehkä eniten biologian tietealaa mullistanut paradigman muutos, sillä evoluutio selittää ja sitoo yhteen lukemattomia muita biologisia ilmiöitä aina biodiversiteetistä lääkeaineresistenssiin (esimerkiksi bakteerin vastustuskyky tietylle antibiootille). Se on lisäksi esimerkki käsitteellisen muutoksen haasteesta, jonka oppimiseen voi joissakin kulttuurisissa konteksteissa kietoutua voimakkaasti myös ei-tieteelliseen maailmankatsomukseen liittyviä erilaisia uskomuksia (esimerkiksi kreationismi). Tyypillinen käsitteellisen muutoksen haaste eri-ikäisillä oppijoilla liittyy virhekäsitykseen siitä, että evoluutiolla olisi jokin päämäärä ja suunta – pyrkiä myskin kohti jotain tiettyä, parhaalla mahdollisella tavalla ympäristöönsä sopeutunutta huippuyksilöä (teleologinen selittäminen) (Gregory, 2009; Kelemen, 2012; Lennox & Kampourakis, 2013). Todellisuudessa evoluutiolla ei ole suuntaa, vaan se perustuu luonnonvalintaan. Toi-

nen yleinen haaste evoluution oppimisessa on sen ymmärtäminen, että vaikka sopeutumukset ilmenevät yksilöiden tasolla ja yksittäisen eliön ominaisuudet voivat sen elinkaaren aikana silmin nähtävästi muuttua, vain sukusoluissa tapahtuva muuntelu periytyy. Geenitasolla tapahtuva muuntelu aiheuttaa muutoksia proteiinisynteesissä ja lopulta eliöyksilön rakenteissa (kudokset, elimet, aineenvaihdunta, käyttäytyminen jne.). Mikäli muuntelun tuottamat muutokset ovat yksilön *kelpoisuuden* (fitness) kannalta suotuisia tietyssä elinympäristössä, tällaisen yksilön jälkeläisillä on suurempi mahdollisuus runsastua populaatiossa. Luonnonvalinta testaa tätä muuntelua kaikilla organisaatiotasolla soluista yksilöihin. Olennaista on, että ainoastaan sukusoluissa tapahtuva muuntelu periytyy jälkeläisille. Näin ympäristöönsä parhaiten sopeutuneet yksilöt ja tietyt geenimuunnokset voivat yleistyä populaatiossa. Muun muassa edellä kuvatut oppimisen haasteet ovat erittäin yleisiä niin opintojen alussa kuin myöhemmissäkin vaiheissa, ja niillä on seurauksia esimerkiksi sille, miten ihminen ymmärtää biodiversiteetin suojelemisen tärkeyden tai vaikkapa meneillään olevan kuudennen massasukupuuttoaallon syitä ja seurauksia.

Tyypillisesti on helpompaa oppia käsitteitä, jotka viittaavat konkreettisiin asioihin tai objekteihin kuin abstrakteihin asioihin viittaavia käsitteitä (Chi, 2005). Asioihin viittaavia käsitteitä taas on yleisesti helpompi oppia kuin käsitteitä, jotka viittaavat prosesseihin. Prosesseista on helpompaa oppia säännöllisessä järjestyksessä tapahtuvia, vaiheita sisältäviä prosesseja, kuten biologiassa verenkierto tai mitoosi, kuin näennäisesti epämääräisesti kehkeytyviä niin sanottuja emergentejä prosesseja, kuten evoluutio (Chi, 2005; Chi ym., 2012). Emergenteillä prosesseilla tarkoitetaan sellaisia prosesseja, joilla ei ole yhtä selkeää suuntaa eikä selkeästi erottuvia vaiheita ja joissa on monimutkaisia, samanaikaisia vuorovaikutussuhteita. Nämä vuorovaikutussuhteet ovat luonteeltaan systeemisiä, mikä tekee muutosten ennakoinnista ja sen aiheuttavien tekijöiden tunnistamisesta vaikeaa.

## *Käsitteellisen muutoksen edellytyksiä*

Käsitteellisessä muutoksessa oppija rakentaa uudenlaista ymmärrystä opittavasta asiasta muokaten ja uudelleen järjestellen aikaisempia tietorakenteitaan aiheesta. Käsitteellisen muutoksen saavuttaminen on pääsääntöisesti vaiheittainen ja työläs prosessi, joka yleensä edellyttää tavoitteellista ja systemaattista opiskelua ja opettamista (Limón & Mason, 2002). Yleisesti ajatellaan, että käsitteellisen muutoksen mahdollistuminen vaatii, että uuden käsitteen on oltava ymmärrettävä eli sellainen, minkä oppija on kykenevä oppimaan. Sen on oltava myös hedelmällinen, mikä tarkoittaa sitä, että uusi käsite tarjoaa enemmän selitysvoimaa kuin oppijan aikaisempi käsitys. Lisäksi sen on oltava uskottava eli sellainen, minkä oppija on valmis hyväksymään (Posner ym., 1982; Thacker & Sinatra, 2022). Oppijan on myös koettava aitoa halua muokata aikaisempia käsityksiään. Siten tyytymättömyys aikaisempiin käsityksiin ja niiden tarjoamiin selitysmalleihin on yksi käsitteellisen muutoksen saavuttamisen edellytys.

Kokeakseen aitoa halua ja tarvetta muokata olemassa olevia käsityksiään oppijan on tultava tietoiseksi omien käsitystensä ja tieteellisen selityksen välisistä eroavuuksista. Tämä aikaisempien tietojen ja tieteellisen tiedon välillä mahdollisesti vallitsevasta ristiriidasta tietoiseksi tuleminen näyttäisikin olevan kaikkein olennaisin seikka käsitteellisen muutoksen tukemisessa (Aleknavičiūtė ym., 2023). Oppijan on toisin sanoen tunnistettava omien aikaisempien käsitystensä toimimattomuus tai riittämättömyys ja sen avulla motivoituttava ponnistelemaan uuden ymmärryksen saavuttamiseksi. Tätä tietoisuutta aikaisempien käsitysten ja tieteellisen selityksen välillä kutsutaan metakäsitteelliseksi tietoisuudeksi (Mikkilä-Erdmann, 2001; Södervik, 2016; Vosniadou, 1994). Metakäsitteellisen tietoisuuden avulla oppija siis tulee tietoiseksi omien käsitystensä ja tieteellisen selityksen välisestä railosta. Tämä niin sanottu tiedollinen ristiriita eli kognitiivinen konflikti tyypillisesti herättää oppijassa kielteisiä tunteita, kuten hämmennystä ja tunnetta epäjärjestyksestä. Kokemus on kuitenkin oppimisen kannalta usein ratkaisevan tärkeä. Ristiriita sinällään ei kuitenkaan vielä varmista aikaisempien käsitysten muuttumista, vaan ristiriidan onnistunut ratkaiseminen edellyttää usein opetuksellista tukea, jossa opettaja auttaa oppijaa pääsemään hankalien tunteiden yli, keskittämään huomion olennaiseen ja rakentamaan uutta ymmärrystä opiskeltavasta aiheesta (Limón, 2001; Potvin ym., 2015).

Korkeatasoisen oppimisen edellytys on siis oppijan tietoisuus omien käsityksensä ja tavoiteltavan osaamisen välisestä erosta. Tätä yleistä omasta ja toisten oppimisesta tietoiseksi tulemistä kutsutaan metakognitioksi (Flavell, 1979). Metakognitiota tarvitaan oppijan ohjatessa, valvoessa, suunnitellessa ja arvioidessa omaa ajatteluaan ja oppimistaan sekä näihin liittyvää toimintaansa (Hofer, 2019). Metakognitiota voi kehittää muun muassa itse- ja vertaisarviointin keinoin, kuten seuraavassa alaluvussa 4.4 kuvataan.

#### 4.4 Opetus ja osaamisen arviointi käsitteellisen ymmärryksen tukemisessa

Opettajan pedagogisilla valinnoilla ja siten opetuksen laadulla on ratkaiseva merkitys siinä, mitä ja miten opitaan (Burroughs ym., 2019; Hattie, 2011). Opiskeluprosessin tavoitteena on yleensä tiedon syvälinen ymmärtäminen ja kyky käyttää tietoa paitsi rutiininomaisesti toistuvissa, myös uusissa ja ennakoimattomissa tilanteissa. Tällainen oppiminen edellyttää aktiivista tiedon kytkeämistä oppijan omiin, henkilökohtaisiin aikaisempiin käsityksiin. Opettajan tehtävä on tarjota oppijoille oppimistehtäviä ja mahdollisuuksia käsitellä opiskeltavaa asiaa eri tavoin ja erilaisissa konteksteissa, yksin ja yhdessä. Oppijan on siis prosessoitava opiskeltavaa tietoa aktiivisesti, usein tavoitteellisesti ponnistellen ja yhteyksiä tietoisesti rakentaen. Usein tämä edellyttää toisten oppijoiden kanssa tapahtuvaa pohdiskelua ja yhteistä tiedonrakentelua yhdessä oppimisen ideaa noudatellen (ks. Luku 7).

Biologinen tieto lisääntyy nopeasti, mikä edellyttää opetukselta uudenlaisia keinoja tukea oppijoiden valmiuksia osaamisensa arviointiin ja päivittämiseen. Edellä kuvattujen syiden takia biologian kuten muidenkin luonnontieteiden opetuksessa onkin alettu yhä enemmän kaivata konkreettisia toimia opetuksen uudistamiseksi, jotta opetus tavoittaisi yhä tasapuolisemmin erilaiset oppijat tarpeineen ja vahvuuksineen ja tukisi tulevaisuudessa tärkeiden taitojen oppimista. Oleellista biologian opetuksessa on tunnistaa ja ymmärtää ainedidaktisesti merkityksellisen tiedon rooli (powerful knowledge, Dempster, 2023; Deng, 2022; Hudson ym., 2023; Muller & Young, 2019; ks. myös Luku 2) ja keskittyä opetuksessa erityisesti näihin sisältöihin ja taitoihin tuettaessa oppijoiden kasvua toimintakykyisiksi kestävyttä edistäviksi kansalaisiksi (vrt. Luku 2, visiot 1–3, Sjöström & Eilks, 2018).

Biologian oppiaineessa käsitteiden määrittelyllä on tyypillisesti ollut suuri painoarvo, ja hieman kärjistäen tämä on saattanut luokkahuoneissa toteutua käsitteiden ulkolukuna tai opettajan opetusmateriaalia muistiinpanoihin kopioiden. Tämä ei tietenkään vielä riitä tukemaan syvällistä käsitteellistä ymmärrystä. Niin sanottu ”hauki on kala” -tyyppinen pänttäminen johtaa asioiden pinnalliseen oppimiseen, ja tällaisesta tiedosta suuri osa unohtuu varsin nopeasti (Schacter, 2011). Oppijan onkin punottava uusi tieto olemassa oleviin aikaisempiin käsityksiinsä tavoitellessaan oppimista, jolla on perustavanlaatuisia vaikutuksia hänen toimintaansa. Tällaisen aktiivisen tiedon prosessoinnin tuloksena opittaville asioille muodostuu henkilökohtaisia merkityksiä, mikä saa aikaan pysyviä muutoksia ajattelussa ja osaamisessa (Ummels ym., 2015). Joidenkin käsitteiden (esimerkiksi anatomiset rakenteet) opettelu voi kyllä vaatia ulkolukuakin, mutta myös tällöin käsitteiden tulisi kytkeytyä kokonaisuuteen. Anatomiset rakenteet, kuten sydämen eteiset ja kammiot tai valtimoiden ja laskimoiden rakenteiden erot on helpompi painaa mieleen, kun ymmärtää niiden fysiologiset tehtävät. Tämän ymmärryksen rakentumista voidaan tukea erilaisilla visualisoinneilla, animaatioilla, minitutkimuksilla tai vaikkapa laajennettua todellisuutta hyödyntävien oppimisympäristöjen avulla, joita esitellään alaluvussa 4.5.

Oppiainekohtaisten oppimisen haasteiden tunnistaminen ja tarkoituksenmukaisten pedagogisten valintojen tekeminen edellyttää opettajalta pedagogista sisältötietoa (pedagogical content knowledge, PCK). Pedagogisella sisältötiedolla tarkoitetaan opettajan oppiaineeseen tai tieteenalaan erityisesti liittyvää pedagogista osaamista, kuten ymmärrystä siitä, millaisia virhekäsityksiä tai oppimisen hankaluuksia tietyn ilmiön oppimiseen tyypillisesti liittyy (Shulman, 1987). Pedagogista sisältötietoa on esimerkiksi opettajan ymmärrys siitä, että oppilailla saattaa olla hankaluuksia oppia tumanjakautumisen prosessit, erityisesti meioosi, ja kuinka toisaalta näiden eri jakautumisvaiheiden piirtäminen tai esimerkiksi muovailuvahamallien askartelu voi helpottaa oppimista merkittävällä tavalla (Murtonen ym., 2018). Pedagoginen sisältötieto on siis pedagogisten teorioiden soveltamista tieteenala- tai oppiainekontekstiin. Opettajan pedagoginen sisältötieto alkaa karttua didaktisten opintojen aikana ja jatkaa kehittymistään kokemuksen myötä aktiivisen reflektoinnin avulla.

Biologian oppimistutkimuksessa on sekä tunnistettu tyypillisiä oppimisen haasteita että pyritty erilaisten opetuskokeilujen, interventoiden, avulla tukemaan näiden haasteellisten sisältöjen oppimista (Aleknavičiūtė ym., 2023;

Ummels ym., 2015). Katsausartikkelin perusteella käytetyimpiä ja samalla tehokkaimpia pedagogisia keinoja käsitteellisen muutoksen edistämiseksi biologiassa ovat erilaiset aikaisempien käsitysten tarkasteluun ja tyyppillisten virhekäsitysten haastamiseen kannustavat materiaalit (Aleknavičiūtė ym., 2023). Muita keinoja käsitteellisen muutoksen tukemiseen ovat muun muassa simulaatiot, animaatiot ja pelit (Trundle & Bell, 2010), erilaiset käytännön havainnollistukset, kokeet ja harjoitukset (Weaver, 1998) sekä analogiat, visualisoinnit, mielle- tai käsittekartat ja muut erilaiset esitysmuodot (Çalik ym., 2011; Chiu & Lin, 2005; Gentner & Smith, 2012; Jaakkola ym., 2011; Kinchin, 2000). Tulevaisuudessa laajennettua todellisuutta hyödyntävät oppimisympäristöt voivat tarjota uudenlaisia opetuksellisia menetelmiä tarkastella monimutkaisia biologian käsitteitä ja niiden välisiä yhteyksiä. Alaluvussa 4.5 on avattu näitä pedagogisia keinoja tarkemmin.

On eduksi, jos opettaja tunnistaa oppijoidensa mahdollisia tieteellisestä mallista poikkeavia ennakkokäsityksiä ja auttaa heitä tulemaan tietoisiksi niistä (Hartelt ym., 2022; Morrison & Lederman, 2003). Sisältöjen opettamisen lisäksi opettajan onkin hyödyllistä auttaa oppijoita tarkastelemaan eli refleктоimaan omia käsityksiään ja ajatuksiaan. Opetuksellinen tavoite on, että vähitellen oppija oppii myös itsenäisesti refleктоimaan ja arvioimaan osaamistaan sekä sietämään oppimiseen luonnollisena osana kuuluvia ajoittaisia epämieluisia tunteita ja pääsemään niiden yli. Uteliaisuus ja uuden oppimisesta seuraava oivaltamisen ilo ovatkin usein seurausta ponnistelusta ja pitkäjänteisestä työskentelystä, ja nämä seikat auttavat oppijaa syventymään sinnikkäästi myös tuleviin oppimistehtäviin.

### *Arviointi käsitteellisen ymmärryksen rakentumisen tukena*

Biologian monipuoliset opetusmenetelmät mahdollistavat ja edellyttävät monipuolisuutta myös osaamisen arvioinnilta (Mintzes ym., 2001). Käsitteellisen oppimisen tavoitteena ei ole pintapuolisen faktatiedon oppiminen vaan saada aikaan syvällisiä muutoksia oppijan ajattelussa ja toiminnassa (vrt. visio 3, Luku 2). Opettaja voi arvioinnin avulla vaikuttaa siihen, millaisia opiskelustrategioita oppijat valitsevat ja millaisen osaamisen rakentumista nämä valinnat tukevat (Eloranta ym., 2005). Oppimisen arviointi ohjaa olennaisella tavalla oppilaiden oppimista ja sitä, millaisia opiskelutapoja oppijat hyödyntävät (Biggs & Tang, 2011; Brown ym., 2013). Arviointi viestittää aina oppijoille



siitä, millaista osaamista oppiaineessa arvostetaan. Siksi opettajan on miettittävä tarkkaan, millaisia tulkintoja toivoo oppijoiden esimerkiksi biologian osaamisesta muodostavan. Biologian oppiaineen opiskelussa ja arvioinnissa käsitteiden määrittelyllä on perinteisesti ollut suurehko rooli, mutta arvioinnin keinona käsitteen määrittelytehtävät tavoittavat varsin pinnallisen osaamisen tason. Tärkeää olisikin laatia osaamista mittaavia tehtäviä, jotka edellyttävät käsitteiden soveltamista, analysointia ja käyttöä autenttisen kaltaisissa ongelmanratkaisutehtävissä.

Arvioinnin tärkein tehtävä on ohjata oppimista opetussuunnitelmien suunnassa ja sen tulisi olla luonnollinen osa opiskeluprosessin eri vaiheita (OPH, 2014). Niin sanottu diagnostinen arviointi pyrkii kartoittamaan ja tekemään näkyväksi sekä opettajalle että oppijalle itselleen lähtötason ja ennakkokäsityksiä. Diagnostisella arvioinnilla onkin käsitteellisen muutoksen näkökulmasta tärkeä rooli oppijoiden mahdollisten virheellisten ennakkokäsitysten osoittajana. Formatiivinen arviointi on arviointia, joka kohdistuu oppimisprosessin aikaiseen toimintaan ja auttaa ymmärtämään, miten käsitteellinen ymmärrys on rakentumassa. Summatiivinen arviointi tapahtuu tyypillisesti oppimisprosessin lopussa ja silloinkin on tärkeää, että sekä opettaja että oppija itse ymmärtävät, miten oppimiselle asetetut tavoitteet saavutettiin ja missä vaiheessa käsitteellisen muutoksen prosessia oppija on (Vrt. Atjonen, 2017; Atjonen *ym.*, 2019; ks. myös Luku 3).

Pyrkinessään arvioimaan oppijoiden käsitteellisen ymmärryksen rakentumista opettajan onkin tunnistettava opiskeltavasta sisällöstä eritasoista oppimista vaativia sisältöalueita ja suunniteltava opetus ja arviointi näiden tasojen suuntaisesti. Faktaosaamisen arviointi onnistuu melko yksinkertaisten osaamista mittaavien tehtävien avulla (esim. aukkotehtävät, käsitteen määrittelytehtävät). Sen sijaan, kun halutaan arvioida oppilaiden syvällistä aiheen ymmärrystä, taitoa soveltaa opittua mahdollisesti oppiainerajat ylittäen tai jopa uuden tiedon tuottamista, tarvitaan edellistä vaativampia oppimistehtäviä (esim. soveltavat tehtävät, portfoliot, aineistotehtävät). Syvällisen käsitteellisen ymmärryksen ja käsitteellisen muutoksen arvioiminen ei yleensä onnistukaan pelkillä monivalintatehtävillä, vaan tarvitaan myös avoimia tehtäviä, jotka antavat mahdollisuuden ymmärtää paremmin oppijan ajattelua (Aleknavičiūtė *ym.*, 2023). Edelleen tekoälyn, erityisesti suurten kielimallien, saataville tulo mullistaa arviointia myös biologian oppiaineessa (ks. alaluku 4.5 Tekoäly ja suuret kielimallit). Tulevaisuudessa biologian osaamisen arvioinnissa koros-

tuneekin entisestään tarve monipuoliseen arviointiin ja sen kirkastamiseen, mikä on biologian osaamisessa olennaista muuttuvassa maailmassa.

Biologisen tutkimustiedon määrä kasvaa kiihtyvällä vauhdilla ja jatkuvan oppimisen ajatuksen mukaisesti oppijoiden on tärkeää oppia arvioimaan omaa osaamistaan ja tarvittaessa päivittämään käsityksiään. Käsitteellisen ymmärryksen rakentumiselle ja käsitteellisen muutoksen saavuttamiselle onkin keskeistä oppijan kyky arvioida realistisesti oman ymmärryksensä tasoa (ks. myös alaluku 4.3). Itsearviointien avulla oppija oppii tunnistamaan ja sanoittamaan osaamistaan, mikä tukee korkeatasoisen osaamisen rakentumista. Taito arvioida ja sanoittaa omaa osaamista onkin jatkuvan oppimisen edellytys ja sitä korostetaan myös nykyisissä opetussuunnitelmissa (OPH, 2014).

Arviointiin liittyy aina kiinteästi myös palaute. Oppimista tukevan, rakentavan palautteen saaminen oikea-aikaisesti on oppimisen kannalta ensiarvoisen tärkeää. Palautteen ei aina tarvitse tulla opettajalta, vaan vertaisarviointi ja vertaispalaute ovat oivia keinoja tukea oppijoiden käsitteellisen ymmärryksen rakentumista. Näissä oppijat arvioivat ja antavat palautetta toistensa tuotoksista, esimerkiksi käsitteiden käyttämisestä, mikä tukee oppijan oman metakognition kehittymistä ja mahdollistaa oppilaiden aktiivisen roolin osaamisen arvioinnissa (Crane & Winterbottom, 2008), (ks. myös Luku 3). Taidot antaa ja vastaanottaa rakentavaa palautetta, tai itse- ja vertaisarvioinnin taidot eivät kuitenkaan kehity itsestään, vaan niitäkin tulee harjoitella (De Grez ym., 2012).

## 4.5 Pedagogisia keinoja tukea käsitteellisen ymmärryksen rakentumista

Seuraavassa esitellään lyhyesti esimerkkejä erilaisista pedagogisista keinoista ja havainnollistamisen tavoista käsitteellisen ymmärtämisen rakentumisen tukemiseksi opiskeltaessa esimerkiksi biologisia rakenteita (esim. solurakenne ja kasvin tai eläimen anatomia), prosesseja (esim. proteiinisynteesi, tumanjakautumisen prosessit mitoosi ja meioosi) ja vuorovaikutussuhteita (esim. ekosysteemi; koevoluutio) (vrt. Eloranta ym., 2005).

## *Verbaaliset esitystavat*

*Tekstit ja törmäyttäminen.* Usein oppijat eivät ole kovin tietoisia aikaisemmista käsityksistään eivätkä siksi välttämättä koe tarvetta muokata niitä, vaikka käsitykset olisivatkin ristiriidassa tieteellisen ymmärryksen kanssa. Tästä syystä oppimista tukevat sellaiset opetusjärjestelyt ja harjoitteet, jotka auttavat oppijoita tunnistamaan ja kriittisesti puntaroimaan aikaisempia käsityksiään opiskeltavista aiheista (Bransford ym., 2000). Tällaisia oppimisaktiiviteetteja voivat olla esimerkiksi erilaiset tehtävät ja oppimateriaalit, joissa opiskelijat pohtivat aikaisempia käsityksiään opiskeltavista teemoista. Omien käsitysten pohtiminen ja mahdollisesta tiedollisesta ristiriidasta tietoiseksi tuleminen on tärkeää myös tutkimuksellisen oppimisen prosessin alussa (esim. Bybee, 2006; Uitto, 2016).

Yksi tällainen käsitteellistä muutosta edistävä oppimisaktiiviteetti on niin kutsuttu törmäyttäminen (Hynd, 2001). Törmäyttämistä on hyödynnetty erityisesti opetusteksteissä (niin kutsutut käsitteellistä muutosta tukevat tekstit, ks. Cetin ym., 2015), mutta sitä voi yhtä hyvin käyttää myös luokkahuoneessa esimerkiksi opetuskeskusteluissa. Törmäyttämisen tehokkuudesta opetuskeinona on suhteellisen paljon tutkimusnäyttöä erityisesti hieman vanhempien, kuten yläkouluikäisten ja tätä vanhempien opiskelijoiden oppimisen tukena (Aleknavičiūtė ym., 2023; Tippett, 2010). Törmäyttäminen pyrkii aiheuttamaan tiedollisen ristiriidan haastaen oppijaa pysähtymään ja kriittisesti puntaroimaan erilaisia käsityksiä sekä miettimään omia ennakkokäsityksiään suhteessa tieteelliseen selitykseen (Flemming ym., 2019). Olennaista tällaisissa opetusmenetelmissä ajatellaan olevan, että oppijalla on mielessään samanaikaisesti aktiivisena sekä oma käsitys aiheesta että tieteellinen selitys, jolloin niiden vertailu mahdollistuu (Kendeou & van den Broek, 2007).

Törmäyttäminen sisältää tyypillisesti seuraavat elementit:

1. tyypillisen harhakäsityksen esiintuominen:  
”monet ajattelevat kasvien saavan ravintonsa maasta juurillaan, kuten eläimet saavat syömällä.”

2. harhakäsityksen selvä osoittaminen:  
”tämä ei kuitenkaan pidä paikkansa” tai ”jos sinä ajattelet näin, käsityksesi ei ole tieteellisen selityksen mukainen”
3. tieteellisen selityksen antaminen ja tuki uuden ymmärryksen rakentamiseksi:  
”kasvit valmistavat itse ravintonsa yhteyttämällä ja saavat maasta juurillaan vain vettä ja ravinteita.”

*Analogiat ja metaforat.* Analogioiden ja metaforien hyödyntäminen opetuksessa tarkoittaa jonkin ilmiön tai prosessin sijoittamista teoreettiselle tai abstraktiselle tasolle ja esimerkiksi erilaisten kielikuvien, vertauskuvien eli metaforien hyödyntämistä. Kasvatuspsykologian ja oppimistutkimuksen aloilla on tutkittu runsaasti analogioiden ja metaforien hyödyntämistä oppimisessa osoittaen niiden hyödyllisyyden mentaalisten mallien rakentamisessa (Gentner, 1983). Analogioiden avulla voidaan havainnollistaa esimerkiksi vaikeaa ja abstraktia prosessia tai ilmiötä hyödyntämällä ennestään tuttua ilmiötä, joka näennäisesti ei liity asiaan (Gentner & Smith, 2012). Menetelmien oppimista tukeva mekanismi liittyy siihen, että ne saavat oppijan prosessoimaan käsiteltävänä olevien asioiden merkityksiä, mikä on oppimisen edellytys.

Luonnontieteiden haastavien käsitteiden oppimisessa analogioiden ja metaforien käyttö on ollut keskeinen opetusmenetelmä monissa tapauksissa niin pitkään kuin käsite on ollut tunnettu (Keller, 2015). Esimerkiksi DNA:n kaksoisjuosterakennetta kuvataan usein metaforalla kierteisistä tikapuista ja juosteisiin liittyviä emäspareja havainnollistetaan erimuotoisilla ja -värisillä toisiinsa sopivilla palapelinpaloilla (Srivastava & Ramadas, 2013). Solua kuvataan usein tehtaana ja ilmastonmuutosta opetettaessa on taas hyödynnetty analogiaa ilmakehästä täyttyvänä kylpyammeena (Guy ym., 2013). Metaforien ja analogioiden käyttö voi kuitenkin olla niin sanotusti ”kaksiteräinen miekka”, mikä tarkoittaa, että huolellisesti ohjeistettuna ne tukevat oppimista tehokkaasti, mutta toisinaan ne aiheuttavat väärinkäsityksiä tai eivät tue oppimista (Davison & Michod, 2023; Duit & Glynn, 1996). Kielikuva ei tietenkään vertaudu oppimisen kohteena olevaan ilmiöön kuin tietyiltä osin, mikä on omiaan tuottamaan jopa virhekäsityksiä, mikäli yhteneväisyyksiä pyritään löytämään sieltä, missä niitä ei ole (Spiro ym., 1989). Tästä huolimatta kielikuvien ja analogioiden käytöllä voidaan monipuolistaa opetusta, sillä toisia

oppijoita ne tosiaan auttavat, mutta näkyväksi kannattaa tehdä myös se, miltä osin analogia tai kielikuva ei tavoita oppimisen kohteena olevaa ilmiötä.

## *Visuaaliset mallit*

*Kuvat, kaaviot, piirtäminen ja käsitekartat.* Biologian oppimateriaaleissa käytetään tyypillisesti runsaasti kuvitusta, jonka ensisijainen tehtävä on tukea tekstin ymmärtämistä. Biologian käsitteet ja niiden muodostamat kokonaisuudet ovat monimutkaisia, monitasoisia ja usein prosessiluonteisia, jolloin oppimisen tukemisessa erilaisten, abstraktiotasoltaan vaihtelevien visualisointien merkitys on keskeinen (Eilam, 2013). Kuvien, diagrammien ja muiden visualisointien ajatellaan auttavan oppijoita ymmärtämään monimutkaisia, abstrakteja ilmiöitä ja prosesseja (Anderson, 2013). Visuaalisten mallien lukutaitoa (visual literacy), esimerkiksi biologiassa taitoa tulkita erilaisia kaavioita, pidetään yhtenä tieteenalan oppimisen keskeisenä taitotavoitteena (Offerdahl ym., 2017). Kuvien, kaavioiden tai käsitekarttojen avulla voidaan arvioida ja tukea esimerkiksi erilaisten vuorovaikutussuhteiden systeemistä ymmärtämistä sekä ajallisten prosessien hahmottamista. Visuaaliset mallit voidaan ryhmitellä sen perusteella, kuinka konkreettisesti (valokuva) tai abstraktisti (kaavakuva) ne esittävät kuvattua asiaa tai ilmiötä.

Visuaalisten mallien avulla voidaan tukea käsitteellisen ymmärryksen rakentamista, mutta hyödyllistä on myös oppilaiden kannustaminen omien visuaalisten mallien rakentamiseen. Esimerkiksi piirtämisen on todettu tukevan oppimista (Quillin & Thomas, 2015). Näiden tehtävien oppimista tukeva vaikutus perustuu usein omista käsityksistä tietoiseksi tulemiseen eli metakäsitteellisen tietoisuuden heräämiseen. Eräässä meioosin prosessin oppimista selvittävässä tutkimuksessa havaittiin, että biologian yliopisto-opiskelijat, jotka saivat tehtäväkseen piirtää meioosin vaiheet sekä kurssin alussa että lopussa, oppivat paremmin kuin opiskelijat, jotka piirsivät meioosin vaiheet vain opintojakson lopussa. Omien aikaisempien käsitysten näkyväksi tekeminen ennen opiskeluprosessia siis tuki biologian opiskelijoiden oppimista (Murtonen ym., 2018).

Visuaalisten esitystapojen valinnassa on syytä olla kriittinen, sillä oppimateriaaleissa on edelleen malleja, jotka saattavat edistää virheellisen käsitteellisen ymmärryksen rakentamista (Eilam, 2013). Yksi tällainen esimerkki on eliökunnan sukupu, joka on muuttunut ja on jatkossakin murroksessa kehitty-

neiden tutkimusmenetelmien avulla tuotetun uuden tutkimustiedon vuoksi. Oppimateriaaleissa käytetään esimerkiksi yhä yleisesti visualisointeja, jotka luokittelevat eliökunnan kasveihin, sieniin, eläimiin ja alkueliöihin, mutta tämä luokittelu ei enää vastaa eliöiden sukulaisuussuhteita eikä sitä siksi tulisi käyttää.

Käsittekartta on yleisnimitys graafisille esityksille, joissa oppija yksin tai yhdessä toisten kanssa laatii verkostomaisen kaavion, jossa tekniikasta riippuen kuvataan linkkien, nuolten ja apusanojen avulla asioiden välisiä vuorovaikutussuhteita tiettyyn aihealueeseen liittyen (Novak & Cañas, 2006; Åhlberg, 1990). Biologian opetuksessa käsittekarttoja voidaan hyödyntää oppimisen tukena opiskeltaessa systeemistä ymmärrystä vaativia ilmiöitä, sillä kartan laatiminen kannustaa vuorovaikutussuhteiden ja hierarkian pohtimiseen (Brandstädter ym., 2012; Kinchin, 2000; Åhlberg, 2013). Käsittekartta on hyödyllinen tapa esittää systeemisiä ilmiöitä, joiden vuorovaikutussuhteet ovat monen suuntaisia (esimerkiksi emergentit prosessit kuten evoluutio). Vuokaavio poikkeaa käsittekartasta siten, että sen avulla kuvataan usein tiettyyn suuntaan etenevän prosessin vaiheita (esimerkiksi mitoosi). Käsittekarttojen tai vuokaavioiden laatiminen oppitunneiden tai -jakson alussa ja lopussa voi tarjota oppijalle konkreettisen keinon huomata omassa ajattelussa tapahtuneita muutoksia. Tällaisessa harjoitteessa oppilaita ohjeistetaan laatimaan käsittekartta ennakkokäsitystensä perusteella oppitunneiden alussa. Opetustilanteen tai vaikkapa kurssin jälkeen oppijat tarkastelevat alussa laatimaansa kaaviota tai karttaa uudelleen ja muokkaavat ja täydentävät sitä opitun perusteella.

### *Fyysiset mallit ja käytännön kokeet*

Biologian oppitunneilla käsitteellistä ymmärrystä tuetaan usein visuaalisten mallien lisäksi konkreettisten, kolmiulotteisten fyysisten mallien avulla (Newman ym., 2018a). Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset muoviset solu- tai elinmallit ja torsot tai vaikkapa luokkahuoneen nurkassa seisova luuranko. Fyysisiä malleja voidaan biologian luokkahuoneessa myös rakentaa itse. Esimerkiksi muoviluvahasta muotoillut kromosomit tumanjakautumisen eri vaiheissa voivat tukea hankalan oppisisällön ymmärtämistä tehden siitä konkreettisempää.

Toisaalta fyysisiä malleja ovat myös aidot eliöt tai elimet, joita preparoidaan. Näiden työtapojen ja -välineiden avulla voidaan tukea esimerkiksi anatomian ja fysiologian välisen yhteyden ymmärrystä, kun esimerkiksi havaitaan omin silmin ja omin käsin kosketellen, että lihaskerros preparoitavan sian sydämen vasemman kammion ympärillä tosiaan on paksumpi kuin oikeaa kammiota ympäröivä lihaskerros. Käsitteellinen ymmärrys voi rakentua henkilökohtaisten merkitysten varaan luontevammin, kun oppiminen tapahtuu konkreettisen tarkastelun ja tutkiskelun kautta, jolloin esimerkiksi rakenteen ja toiminnan välinen yhteys on helpompi hahmottaa (de Jong ym., 2023).

Biologian oppiaine tarjoaa runsaasti mahdollisuuksia erilaisten käytännön kokeiden ja harjoitusten tekemiseen, joiden avulla voi tutkivan oppimisen keinoja hyödyntäen testata esimerkiksi erilaisten käsitysten toimivuutta (ks. myös Luvut 2 ja 7). Kokeita ja harjoitteita voi tehdä koulujen laboratoriotiloissa tai koulun ulkopuolisissa oppimisympäristöissä. Harjoitteiden tarkoitus on mahdollistaa oppilaille opettajan ohjauksessa tutkimuksellista otetta mallittavat oppimistehtävät, joiden on todettu tukevan käsitteellisen ymmärryksen rakentumista. Näiden oppimistehtävien etuna on, että oppijat harjoittelevat niissä hypoteesien muodostamista ja testaamista sekä johtopäätösten tekoa yhdistellen käsitteellistä tietoa konkreettiseen työskentelyyn ja havainnointiin (de Jong ym., 2023). Kokeellisten menetelmien merkitys tieteellisten käsitteiden opettamisessa on tärkeä, mutta ensisijaisen keskeistä on kokeellisuuden mahdollistama aktiivinen ja tavoitteellinen käsitteellinen konstruointi, jonka tulee tavoittaa tutkittavan ilmiön takana olevat ydinideat, jotta oppimista voi tapahtua (Ohlsson & Lehtinen, 1997).

Oppilaat voivat esimerkiksi tutkia erilaisten kasvuolosuhteiden vaikutuksia kasvien kasvamiseen kylvämällä siemeniä useisiin pieniin ruukkuihin, jotka sijoitetaan alttiiksi erilaisille kasvuolosuhteille (rajoitetaan esimerkiksi valon, veden tai ravinteiden määrää tai lämpötilaa). Seuraavilla oppitunneilla, muutamien päivien kuluttua tarkastellaan kasveissa tapahtuneita muutoksia ja peilataan näitä ennakkoon asetettuihin hypoteeseihin käsitteellistä tietoa käyttäen. Kun oppilaat opettajan ohjauksessa itse asettavat tutkimuskysymyksiä, testaavat hypoteeseja ja tutkivat löydöksiä, heidän käsitteellinen ymmärryksensä rakentuu tutkitusti tehokkaammin kuin opettajajohtoisuutta painotavassa opetuksessa (Vančugovienė ym., 2024). Muita esimerkkejä tällaisista oppimismuodoista voivat olla maastossa tapahtuvat ongelmanratkaisua ja havaintojen tekoa yhdistelevät tuokiot tai vaikkapa kasvitieteellisten puutarho-

jen mahdollistamat ”evoluutiokävelyt”. Vaikka edellä kuvatuissa oppimistehävissä oppijat toimivat aktiivisesti, opettajan ohjaus on kuitenkin tärkeää. Niin sanottu ohjattu tutkiva oppiminen tarkoittaa oppijälähtöistä lähestymistapaa, jossa oppilaat osallistuvat aktiivisesti tutkimus- ja oppimisprosessiin, jota opettaja ohjaa (de Jong ym., 2023).

### *Dynaamiset mallit, oppimispelit ja laajennettua todellisuutta hyödyntävät ympäristöt*

*Simulaatiot ja animaatiot.* Kehittyneet teknologiat ja oppilaiden lisääntynyt pääsy digitaalisten laitteiden äärelle kouluissa ja kotona ovat avanneet uusia mahdollisuuksia ilmiöiden havainnollistamiseen ja kokeellisuuteen (Yli-Panula ym., 2019). Monien biologian käsitteiden luonne on monimutkainen ja dynaaminen, jolloin staattiset oppikirjojen visualisoinnit eivät välttämättä tue systeemisen ymmärryksen rakentumista parhaalla mahdollisella tavalla. Luonnontieteiden opetuksessa erilaisten simulaatioiden ja animaatioiden käyttö onkin luonteva osa käsitteellisen ymmärryksen rakentumiseen ja käsitteelliseen muutokseen tähtäävää opetusta (Veermans & Jaakkola, 2019). Menetelmien eduiksi on tunnustettu, että ne mahdollistavat samanaikaisten prosessien havainnollistamisen, monimutkaisten prosessien tarkastelun todellisuutta yksinkertaistetummin sekä vuorovaikutussuhteiden ja ajallisten elementtien hahmottamisen (Rutten ym., 2012).

Esimerkiksi ihmisen täydellinen, kaksinkertainen verenkierto kuvataan oppikirjoissa usein staattisella kuvalla, josta voi olla hankala hahmottaa keuhkoverenkierron ja systeemisen verenkierron yhtäaikaisuus (oikea ja vasen sydämen kammio supistuvat lähestulkoon samanaikaisesti). Tämän taas ajatellaan olevan yksi syy siihen, että kaikenikäisillä oppijoilla on vaikeuksia sydän- ja verenkiertoelimistön rakenteiden ja toimintojen oppimisessa (Carey, 1985; Chi, 2013; Södervik ym., 2019). Simulaatioiden ja animaatioiden käyttö tukee monimutkaisten dynaamisten ilmiöiden ymmärtämistä ja voi muun muassa lisätä oppilaiden motivaatiota paneutua tiettyyn oppimistehävään (Barrow ym., 2009; Veermans & Jaakkola, 2019).

*Oppimispelit.* Pelaaminen ja peliteollisuus ovat nykyään suuri ja nopeasti kehittyvä ala, jota hyödynnetään enenevässä määrin myös opetuksessa (Alnagrat ym., 2022; Ullah ym., 2022). Oppimisleleillä (educational games) tarkoi-



tetaan sellaisia pelejä, joiden pääasiallinen tehtävä on viihdyttämisen sijaan tukea oppimista. Oppimispelien avulla voidaan harjoittaa erilaisia taitoja, mutta tavoiteltaessa syvälliseen käsitteelliseen ymmärrykseen tähtäävää oppimista, hyödyllisimpinä pidetään sellaisia pelejä, joissa pelimekanismit ja opiskeltava sisältö on integroitu (Lehtinen ym., 2014). Tällä tarkoitetaan sitä, että oppimistehtävät ovat kiinteästi pelin tavoitteeseen ja tehtäviin kytkeytyneitä, eivätkä irrallisia harjoitteita. Pelillisten elementtien tuominen opiskeluun on mahdollista myös ilman varsinaisten oppimispelien hyödyntämistä esimerkiksi seuraamalla tehtyjen tehtävien etenemistä ja palkitsemalla etenemisestä (Vesterinen & Mylläri, 2014). Pelillisyyden on todettu lisäävän tehtävään upoutumista ja parantavan epäonnistumisen sietoa ja siten motivoivan ja kannustavan oppijaa sinnikkyyteen (Granic ym., 2014). Oppimispeleistä onkin toivottu tukea oppilaiden motivoimiseksi luonnontieteiden opiskeluun (Veermans & Jaakkola, 2019). Samaan aikaan on esitetty kritiikkiä, että ulkoisten palkkioiden tuominen opiskeluun pelillisten elementtien avulla saattaa lisätä ulkoisen motivaation syntymistä (Vesterinen & Mylläri, 2014).

*Laajennettu todellisuus.* Laajennetun todellisuuden (Extended Reality, XR) eri sovellukset (lisätty todellisuus eli Augmented Reality, AR; virtuaalitodellisuus eli Virtual Reality, VR ja yhdistetty todellisuus eli Mixed Reality, MR) tarjoavat mahdollisuuden tarkastella muutoin ulottumattomissa olevia asioita ja ilmiöitä tai tehdä erilaisia kokeellisia oppimistehtäviä (Alnagrat ym., 2022; Arici ym., 2019; Kapp ym., 2020; Södervik ym., 2021). Laajennettua todellisuutta hyödyntävät oppimisympäristöt voivat mahdollistaa esimerkiksi mikroskooppisten asioiden ja prosessien tarkastelun (ks. Tan & Waugh, 2013), mikä muutoin olisi hankalaa tai mahdotonta (esim. solun rakenteet ja solun jakautuminen, molekyylibiologia) (Bennett & Saunders, 2019; Reen ym., 2022). Niiden avulla voidaan myös havainnoida sellaisia paikkoja ja ajan ulottuvuuksia (esim. hapeton järvenpohja tai jäätiköiden sulaminen), joihin muutoin ei olisi pääsyä.

Tutkimusten perusteella on saatu viitteitä, että virtuaaliset luontokokemukset voivat joissain tilanteissa olla yhtä tehokkaita ympäristöstävällisen käyttäytymisen tukemisessa kuin todellisessa luonnossa tapahtuneet oppimistilanteet (Deringer & Hanley, 2021). Näiden oppimisympäristöjen yksi etu onkin se, että ne tukevat käsitteellisen ymmärryksen rakentumista mahdollistamalla tutkimuksellisen lähestymistavan opittavien sisältöjen prosessointiin silloinkin, kun se reaali maailmassa olisi mahdotonta (Wörner ym., 2022).

Tutkimusten perusteella tiedetään, että usein oppijat kokevat esimerkiksi virtuaalisissa oppimisympäristöissä opiskelun motivoivaksi, kiinnostavaksi ja oppimista tukevaksi (Bennet & Saunders, 2019; Kapp ym., 2022). Tutkimusta kuitenkin tarvitaan enemmän, sillä samaan aikaan tiedetään myös, että digitaalisissa ympäristöissä oppilaiden kognitiivinen kuormittuminen kasvaa (Han ym., 2021) eivätkä oppimistulokset automaattisesti parane (Makransky ym., 2019; Södervik ym., 2021). Tämä voi johtua esimerkiksi siitä, että liian suuri osa rajallisesta huomiokyvystä suuntautuu opiskeltavien asioiden tarkastelun ja pohtimisen sijaan epäolennaisiin asioihin kuten oppimisympäristössä navigointiin.

Teknologiset edistysaskeleet muokkaavat biologian opetusta tulevaisuudessa, mutta teknologioita tai ympäristöjä ei aina kehitetä tutkimusperustaisesti eikä pedagogisesti tarkoituksenmukaisesti. Syyt digitaalisen oppimisen lisäämispaineille suomalaisissa kouluissa ovat monisyisiä ja opettajalta edellytetään kriittistä otetta ja uusia taitoja sen pohtimiseksi, miten tulevaisuudessa erilaisia tietoja ja taitoja on mielekästä ja tarkoituksenmukaista opettaa (Saari & Sääntti, 2018). Erityisesti uusien teknologioiden hyödyntämisessä opettajan on tärkeää pitää mielessä pedagoginen tarkoituksenmukaisuus (Makransky ym., 2019). Tutkimuksissa on havaittu, että oppimisympäristön vaihtelu perinteisestä digitaaliseen voi tukea oppimista (Jaakkola ym., 2011). Käytännössä esimerkiksi laajennettua todellisuutta hyödyntävien oppimisympäristöjen (esimerkiksi virtuaalilaboratorio) yhdistäminen perinteiseen oppimisympäristöön (esimerkiksi tavallinen koululaboratorio) voi tukea oppimista paremmin kuin kumpikaan oppimisympäristö yksinään.

### *Tekoäly ja suuret kielimallit*

Kehittyvä teknologia ja esimerkiksi yhä useampien ja nuorempien oppijoiden saatavilla olevat erilaiset tekoälysovellukset haastavat myös biologian opettajia pohtimaan osaamisen laatua ja sen mittaamisen erilaisia tapoja (Fitzpatrick ym., 2023). On todennäköistä, että tekoälyn käyttö opetuksessa, kuten monissa muissakin yhteyksissä lisääntyy ja oppilaat tulevat myöhemmin elämässään tarvitsemaan niin sanottua ”tekoälylukutaitoa” (AI literacy) (Toivonen, 2023). Kytäkseen hyödyntämään uusia teknologioita vastuullisesti opettajien ja oppilaiden tulisi ymmärtää tekniikan perusteita ja rajoitteita.

*Tekoälyllä* (artificial intelligence) viitataan opetuskontekstissa yleisimmin erityisesti suuriin kielimalleihin (esimerkiksi chatGPT), jotka ovat tänä päivänä melko kattavasti oppilaiden ja opettajien saatavilla. Nämä sovellukset vauhdittavat keskustelua käsitteellisen tiedon roolista sekä osaamisen arvioinnista (ks. tiedeoppimisen visiot Luvut 2 ja 5 sekä käsitteellisen osaamisen arviointia koskeva alaluku 4.4). Tekoälyä voidaankin hyödyntää entistä laajemmin erityisesti mekaanisissa tehtävissä, sillä se pystyy esimerkiksi analysoimaan ja hyödyntämään valtavia tietomääriä tavalla, johon ihminen ei kykene. Sen käytettävyys on kuitenkin toistaiseksi rajallista ongelmanratkaisussa ja uutta luovassa toiminnassa, sillä esimerkiksi kielimallien toiminta perustuu koneoppimiseen, siis matkimiseen (Toivonen, 2023). Kielimallit voivat siis automatisoida tiettyjä ajattelua vaativia tehtäviä ja töitä, mutta vaikka käyttäjästä saattaa erheellisesti siltä joskus tuntua, se ei ajattele käyttäjänsä puolesta eikä ainakaan toistaiseksi ymmärrä merkityksiä sanojen takana. Tekoälyn hyödyllisyys riippuu siis tehtävästä ja kriteereistä ja on myös melko riippuvainen käyttäjän tavasta asettaa järkeviä kysymyksiä.

Yhdistyneiden kansakuntien kasvatus-, tiede- ja kulttuurijärjestö (UNESCO, 2022) on ohjeistanut kasvatusalan toimijoita pohtimaan tekoälyn mahdollisuuksia tukea opetusta ja oppimista uteliaan kiinnostuneena, mutta samalla kriittisesti. Tekoäly ei useinkaan huomioi moraalisia näkökulmia, joten sen käyttö edellyttää eettisen ajattelun taitoja. Tekoäly ei vielä myöskään kykene tarjoamaan mullistavia ratkaisuehdotuksia systeemisten ongelmien, kuten ilmastonmuutoksen ratkaisemiseksi. Ala kuitenkin kehittyy huimaa vauhtia ja tekoälyn luovuudesta ja älykkästä synteisien tekemisestä on jo näyttöä.

Tekoälyn käyttöä opetuksessa tutkitaan tällä hetkellä aktiivisesti ja katsaus- tutkimuksissa onkin lueteltu lukuisia keinoja, miten opettaja voi hyödyntää esimerkiksi kielimallisovelluksia arvioinnin tukena, laatia entistä monipuolisempia, oppijan osaamistason mukaan mukautuvia oppimistehtäviä, kehittää tehtäviä tukemaan oppilaiden eettisen ajattelun ja empatian taitoja ja saada tukea oman ammatillisen kehittymisensä tueksi (Chiu ym., 2023). Jo nyt on saatavilla sovelluksia, jotka muodostavat tarjottuun materiaaliin pohjautuvia monivalintatehtäviä. Tekoäly voikin auttaa opettajaa monenlaisessa rutiiniväisessä (esimerkiksi yksilöllisen palautteen antaminen suurelle oppilasjoukolle). Tekoälyä voi hyödyntää myös oppilasarvioinnissa sekä opetuksessa esimerkiksi siten, että sen tuottamaa tietoa tarkastellaan kriittisesti yhdessä oppilaiden kanssa, sillä osa tekoälyn tuottamasta informaatiosta on epätieteellistä, stereo-

tyyppistä ja syrjivää, jopa suorastaan virheellistä. Tällainen harjoite voi lisätä oppilaiden kriittisen ja eettisen ajattelun taitoja, joiden merkitys tulevaisuudessa kasvaa entisestään myös biologian opetuksessa ja oppimisessa.

## **Luku 5. Kestävyyšnäkökulma biologian käsitteiden opetuksessa**

ILONA SÖDERVIK JA ANTTI LAHERTO

Maailmanlaajuisiin ekologisen kestävyuden kriiseihin vastaaminen vaatii, että ihmiset oppivat ajattelemaan ja toimimaan perustavanlaatuisesti uudella tavalla (Diaz ym., 2019). Biologian ja muiden luonnontieteiden opetuksella on oleellinen rooli transformatiivisessa kestävyyskasvatuksessa. Luontokadon ja ilmastonmuutoksen kaltaisten kestävyyshaasteiden taustalla vaikuttavat biologiset perusilmiöt, joita voidaan tarkastella erityisesti ekologian käsitteistön avulla. Edellisessä luvussa käsitelty biologian opetuksen perinteinen tavoite, biologian käsitteiden oppiminen, on kestävyyskasvatuksen tavoitteiden kannalta edelleen keskeinen mutta ei enää riittävä tai itseisarvoinen.

Käsitteiden saamat merkitykset tulevat todeksi vasta sitten, kun ne näkyvät toiminnan tasolla. Ajankohtaiset kestävyyshaasteet ja -kriisit edellyttävät muutoksia luonnontieteiden, myös biologian, oppimiseen ja opetukseen. Tässä luvussa tarkastellaan biologian käsitteiden oppimisen merkitystä kestävyysongelmien maailmassa. Luku avaa keskustelua laajemman käsitteellisen muutoksen tarpeesta ja kestävyuden sekä kestävyyskasvatuksen määritelmien teoreettisista haasteista, jotka vaikuttavat myös biologian opetuksen ja opetuksen tutkimuksen taustalla.

### **5.1 Muuttuvat luonnontiedeopetuksen tavoitteet ja biologian käsitteiden rooli**

Vihreissä kasveissa tapahtuva yhteyttäminen on yhä tänäkin päivänä elämää ylläpitävä voima samoin kuin se on ollut jo miljardeja vuosia. Yhteyttäminen säätelee maapallon ilmakehän koostumusta ja tuottaa ravintoa. Edelleen evoluution perusmekanismit vaikuttavat ilmastonmuutokseen kytkeytyvän luontokadon taustalla; monilla kasveilla ja eläimillä ei ole mahdollisuuksia sopeutua kasvuolosuhteissa nopeasti tapahtuviin muutoksiin, vaan geenijä, eliölajeja ja kokonaisia ekosysteemejä katoaa (Diaz ym., 2020; Johnson ym., 2017; WWF, 2022). Näiden biologisten ilmiöiden ja käsitteiden ymmärtämi-

nen on kestävyyskriisien hahmottamisen kannalta välttämätöntä – mutta ei kuitenkaan riittävää. Biologian käsitteellinen osaaminen on kyettävä yhdistämään myös muiden tiedonalojen käsitteisiin ja sisältöihin pyrittäessä kohti koko maapallomme mittakaavaista systeemistä ymmärrystä. Monimutkaiset kestävyyskriisit aiheuttavatkin muospaineita biologian opetukseen sekä biologian käsitteiden oppimisen että niiden integroimisen osalta.

Ihminen on suurelta osin omalla toiminnallaan aiheuttanut kriisit, jotka nyt uhkaavat elollista luontoa ja sen biodiversiteettiä geneista lajitasolle ja edelleen ekosysteemeihin (IPCC, 2021; Johnson ym., 2017). Kuten alaluvussa 2.4 perusteltiin, luonnontiedekasvatuksen yhtenä tavoitteena on edistää kestävyysmurrosta ja tukea lasten ja nuorten ympäristövastuullisuuteen kasvamista, mikä tarkoittaa muutoksia myös biologian oppiaineeseen. Opettajien rooli tässä kokonaisvaltaisessa kestävyysosaamisen tukemisessa on ratkaisevan tärkeä. Koulutuksen rooli korostuu erityisesti nykyisessä, “totuudenjälkeisessä” ajassa, jossa tutkittu tieto sekoitetaan mielipiteisiin ja joissakin viiteryhmissä haasteena on jopa tieteen kieltäminen (science denial) (Sinatra & Hofer, 2021). Tutkitun tiedon aseman kyseenalaistaminen ei ole uusi ilmiö, mutta esimerkiksi biologisen tiedon osalta sen seuraukset ovat saaneet vakavia muotoja ihmisten kieltäytyessä (ympäristö)vastuullisista valinnoista (Sinatra & Hofer, 2021; ks. myös Hofer & Sinatra, 2022).

Miksi biologiaa ja muita luonnontieteitä opetetaan koulussa? Luonnontiedeopetuksen tavoitteiden ja toteutuksen uudistustarpeesta on käyty keskustelua viime vuosikymmeninä. Kuten luvussa 2 esitetään, kansainvälisissä suosituksissa ja kansallisissa opetussuunnitelmien perusteissa on yhä enemmän painotettu käsitteiden käyttöä tilanteissa, joita ihmiset kohtaavat kuluttajina ja kansalaisina (tiedekasvatuksen visio 2, ks. Roberts, 2007; Roberts & Bybee, 2014). Lisäksi erityisesti 2010-luvulta alkaen kestävyyskasvatuksen tavoitteiden myötä myös luonnontiedeopetukselle on alettu vaatia entistä radikaalimpia ja ennakoivampia tavoitteita. Kuten luvussa 2.4 todetaan, kestävyyskasvatuksessa ei riitä, että koulussa opitaan tieteen sisältö tietoa (visio 1) tai sen käyttämistä vastaantulevissa tilanteissa (visio 2), vaan biologian ja muiden luonnontieteiden opetuksen pitäisi myös suoraan tukea arvopohjaista muutosta sekä yksilöissä että yhteiskunnassa (vrt. Laherto, 2020, ks. myös Luku 2). Transformatiivista toimijuutta (esim. Lotz-Sisitka ym., 2015) korostavaa ja kriittistä lähestymistapaa on kutsuttu tiedekasvatuksen visioksi 3 (Sjöström ym., 2017).

Tässä luonnontiedeopetuksen tavoitteiden murroksessa on tarkasteltava uudestaan myös biologian käsitteiden oppimista. Useimmat oppimistutkijat ja koulutuspolitiikan tekijät korostavat, että visio 2-tyyppinen kaikkien kansalaisten luonnontieteellinen lukutaito (scientific literacy) vaatii edelleen tieteenalakohtaista käsitteiden ja tiedon luonteen ymmärtämistä (esim. Kapon ym., 2018; OECD, 2019a, b; Roberts, 2007; Roberts & Bybee, 2014). Riittävä käsitteellinen ymmärrys on edellytys myös vision 3 tavoitteiden ja toimintakompetenssin saavuttamiselle. Tässä erityisen keskeinen sisältöalue on niin kutsuttu vaikuttava ja merkityksellinen tieto (powerful knowledge), joka viittaa sellaisiin tieteenalan erityisen keskeisiin sisältöihin ja käsitteisiin, joilla on laaja sovellettavuus yli tieteenalarajojen (Dempster, 2023; Young, 2014; alaluku 2.4). Biologian osalta esimerkiksi fotosynteesin ja evoluution perusmekanismien käsitteellinen osaaminen on edellytys sille, että kansalainen osaa osallistua ja vaikuttaa luontokatoa ja ilmastonmuutosta koskevaan keskusteluun ja kokee mielekkääksi toiminnan kestävyysmurroksen puolesta (Thacker & Sintra, 2022; Young, 2008).

Toisenlaisiakin näkemyksiä käsitteellisen tiedon merkityksestä on esitetty (Andersson, 2022; Tengö & Andersson, 2022). Esimerkiksi luonnontieteellinen lukutaito -ajattelun kriitikko Morris Shamos on argumentoinut, että todellisissa kansalaisten kohtaamisissa tilanteissa käsiteosaamista oleellisempaa on ymmärtää luonnontieteen luonnetta ja osata arvioida lähteiden luotettavuutta (Shamos, 1995). Tällainen kritiikki kuitenkin usein liittyy kapeaan tulkintaan ”käsiteosaamisesta”, jossa osaaminen typistyy käsitteiden määritelmien muis-tamiseksi. Kuitenkin myös vision 1 (Roberts, 2007) tarkoittama käsitteellinen ymmärrys sisältää oleellisesti ymmärrystä luonnontieteen prosesseista, epistemologiasta ja luonteesta, ja sellainen osaaminen kiistattomasti tukee myös käsitteellisen osaamisen käyttämistä arjessa ja yhteiskunnassa. Visiossa 2 ja YLU-lähestymistavassa (socio-scientific issues, SSI, esim. Sadler, 2004; alaluku 2.3) sisältöosaaminen siis yhdistyy *luonnontieteellisen tieteen luonteen* (nature of science) ymmärtämiseen (Erduran & Dagher, 2014) ja tieteellisen argumentaation taitoihin (Osborne ym., 2004). Tällaista yhdistelmää pidetään yhä tärkeämpänä kansalaistaitona, kun julkista keskustelua valtaavat pseudotieteelliset argumentit, misinformaatio ja disinformaatio.

Muuttuvat luonnontiedekasvatuksen tavoitteet vaativat kuitenkin pohdintaa siitä, mitä biologian käsitteitä on tarkoituksenmukaista opettaa. Tämä pohdinta on Suomessakin vielä kesken. Vaikka opetussuunnitelmien tavoitteet

ovat jo kauan painottaneet visiota 2 ja vähintään hivuttautumassa kohti visiota 3, opetettavat sisällöt määräytyvät edelleen enimmäkseen vision 1 eli oppiaineen pohjalla olevan tieteenalan sisäisen käsiterakenteen perusteella (Kokkonen & Laherto, 2018). Esimerkiksi *kontekstiperustaista lähestymistapaa* (context-based learning, Gilbert, 2006) on kritisoitu siitä, että siinä keskitytään oppijan ja yhteiskunnan kannalta mielenkiintoisiin asiayhteyksiin, mutta tyydytään opettamaan näissä uusissa konteksteissa vanhoja käsitteitä, ”perinteistä sisältötietoa”. Luonnontiedeopetuksen ajanmukaistaminen jää tavallaan kesken (Kokkonen & Laherto, 2018). Opetuksen linjakkuuden nimissä olisi syytä arvioida myös sisällöt ja käsitteet uudelleen.

On siis tarkasteltava kriittisesti, miten eri biologian käsitteet palvelevat tiedekasvatuksen visioita 2 ja 3, joissa käsitteellinen ymmärrys ei ole itseisarvona vaan välineellisenä tavoitteena. Tässä tarkastelussa ovat tärkeitä sellaiset käsitteet, jotka ovat yhteisiä muiden oppiaineiden kanssa tai rakentavat siltoja niihin ja jotka tukevat systeemistä ajattelua liittyen kestävyysongelmiin ja muihin yhteiskunnallis-luonnontieteellisiin kysymyksiin. *Rajapintakäsitteillä* (boundary objects, ks. Akkerman & Bakker, 2011) on keskeinen merkitys oppiainerajat ylittävässä ja yhteiskunnallisessa luonnontiedeopetuksessa. Biologiassa tällainen rajapintakäsite on esimerkiksi energia, joka on biologiassa ja kestävyyskasvatuksessa olennainen opiskeltaessa esimerkiksi ravintoketjuihin ja -verkkoihin liittyviä, tutkitusti haastavia kokonaisuuksia (Wennersten ym., 2020). Energian käsite on kuitenkin olennainen biologian lisäksi myös kemian, fysiikan, terveystiedon ja kotitalouden oppiaineissa, kussakin eri kontekstissa.

Tällainen käsitteiden joustava käyttö yli konteksti- ja oppiainerajojen on erityisen olennaista systeemisen ajattelun kehittämisessä. Systeemisen ajattelun taidot ovat kestävyysosaamisen vahvistamisessa olennaisia, sillä kestävyyshaasteet ovat luonteeltaan hyvin monimutkaisia ja monitahoisia (Wiek ym., 2011a, b) ja yksittäisillä muutoksilla on usein monenlaisia ja vaikeasti ennakoitavia seurauksia (Voulvoulis ym., 2022). Systeemisen ajattelun taitoja tarvitaan erityisesti biologian käsitteiden oppimisessa, sillä oppiaineelle on ominaista ilmiöiden sijoittuminen ja toiminta erilaisissa mittakaavoissa molekyyalitasolta ekosysteemeihin, sisältäen myös ajassa tapahtuvat muutokset (Goodsell ym., 2018; Pettersson ym., 2021) (ks. myös Taulukko 2.2). Biologian käsitteitä tulisikin tarkastella oppijoiden kanssa juuri mittakaavaltaan erilaisten tasojen ja eri konteksteihin soveltamisen avulla (Ben-Zvi & Orion, 2005; Gilissen ym.,



2020b). Esimerkiksi käsitteet ”fotosynteesi” ja ”soluhengitys” tulisi ymmärtää ensinnäkin molekyyllitasolla solujen sisällä viherhiukkasissa ja mitokondrioissa tapahtuvina biokemiallisina prosesseina, joissa alkuaineet reagoivat. Lisäksi ne ovat elintärkeitä prosesseja jokaiselle kasville energian ja ravinnon saamiseksi. Ekosysteemi- ja biosfääritasoilla nämä prosessit taas auttavat ylläpitämään vakaata hapen ja hiilidioksidin suhdetta. Myös ravintoverkostojen toiminnassa ne ovat keskeisiä mekanismeja, mutta sekä oppilaiden että opettajaopiskelijoiden vaikeita ymmärtää (Mohan ym., 2009; Wennersten ym., 2020).

Biologian käsitteiden oppiminen on siis joka tapauksessa edelleen keskeistä biologian opetuksessa ja oppimisessa riippumatta siitä, minkä vision näkökulmasta tavoitteet asetetaan: ymmärretäänkö biologian tieteellinen käsitteiden rakenne ja prosessit itseisarvoisina oppimistavoitteina (visio 1) vai välineinä yhteiskunnassa toimimiseen ja vaikuttamiseen (visiot 2 ja 3) (Lundholm, 2019). Jokainen biologian opettaja kuitenkin kohtaa ja joutuu opetustyössään ratkaisemaan jännitteitä, jotka aiheutuvat visioiden osittain ristiriitaisista tavoitteista. Kapon ym. (2018) ovat tunnistanee näiden jännitteiden ulottuvan muun muassa sisältöjen, lähestymistapojen, opiskelijan ja opettajan roolien sekä ajankäytön määrittelyyn. Tieteenalalähtöisyys ja oppilaslähtöisyys eivät kuitenkaan ole toisensa poissulkevia, vaan niitä on opettajan mahdollista tavoitella myös samanaikaisesti (Kapon ym., 2018).

## 5.2 Transformatiivinen kestävyyskasvatus ja käsitteellisen muutoksen haaste

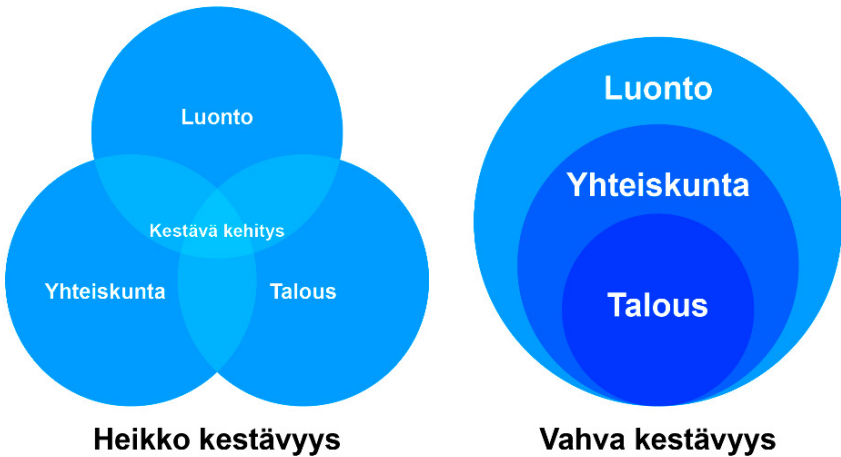
Kestävyyskriiseihin vastaaminen vaatii perustavanlaatuista kasvatuksen ja koulutuksen arvojen ja tarkoituksen uudelleenajattelua sekä radikaalejakin muutoksia koulutusjärjestelmiin ja kasvatuksen lähestymistapoihin (Laininen, 2019; Lotz-Sisitka ym., 2015; Wolff ym., 2022). Tässä alaluvussa tarkastellaan vision 3 aiheuttamaa käsitteellisen muutoksen tarvetta paradigmojen tasolla.

Kuten alaluvussa 4.3 kuvataan, tutkimustiedon lisääntyminen voi osoittaa paradigman tai käsitteellisen muutoksen tarpeen. Ekologisen kestävyuden kriisiytyminen osoittaa, että joidenkin käsitteiden yleisesti jaetut ja vakiintuneet merkitykset ovat puutteellisia tai jopa harhaanjohtavia. Esimerkiksi käsitteen

*kestävyys* (sustainability) merkityssisältöä on nykytiedon pohjalta tarpeen tarkastella uudelleen. Kestävyys-käsite on viitannut ehkä alun perin jonkin jokapäiväisen esineen tai asian kestävyteen ja käyttöikään, mutta nykyään se on yleisesti käytössä yhteiskunnallisissa, tieteellisissä sekä poliittisissa keskusteluissa kuitenkin varsin erilaisin painotuksin ja tulkinnoin (Heikkurinen, 2014).

Kestävyys-käsitteen käyttö lisääntyi voimakkaasti Yhdistyneiden Kansakuntien Brundtlandin komission vuonna 1987 julkaiseman raportin seurauksena (Brundtlandin Komissio, 1987). Raportissa kestävyydellä viitattiin siihen, että ihmiskunnan toiminta ja kehitys ei saisi viedä tulevilta sukupolvilta mahdollisuutta tyydyttää omat tarpeensa. Edelleen kestävyuden keskeisiksi ulottuvuuksiksi tunnistettiin ekologinen, taloudellinen ja sosiaalinen sekä kulttuurinen näkökulma. Raporttia on kuitenkin kritisoitu siitä, että siinäkin kestävyys-käsitteen käyttö on epätarkkaa ja jossain määrin epäjohdonmukaista. Erityisen häiritsevää on ollut ulottuvuuksien välisten suhteiden ja keskinäisriippuvuuksien epämääräisyys erityisesti suhteessa talouskasvuun (Pezzey, 1992). Kyseinen kestävä kehitys määritelmä onkin nykytiedon perusteella riittämätön ja tarvitsee uudelleen ajattelua ja määrittelyä.

Kestävyys-käsitteestä puhuttaessa tunnistetaan nykyään usein sen kaksi varsin erilaista tulkintaa, *heikko* ja *vahva kestävyys* (Davies, 2013; Jeronen, 2023a, b). Heikkoa kestävyyttä havainnollistetaan usein kuviolla, jossa kestävyuden kolme ulottuvuutta (luonto, talous, yhteiskunta) on kuvattu toisensa osittain leikkaavien ympyröiden avulla, joiden keskellä ympyröiden leikkauskohdassa on kestävä kehityksen käsite (Kuvio 5.1). Tämän niin sanotun heikon kestävyuden mallin ongelma on, että se esittää ulottuvuudet yhtä merkittävinä eikä tuo esille niiden keskinäisriippuvuutta (Davies, 2013; Jeronen, 2023a). Mallia on myös tulkittu niin, että yhden ulottuvuuden heikentymistä voitaisiin korvata vahvistamalla toista ulottuvuutta; esimerkiksi ekologinen kestävä elämä olisi olennaisilta osin paikattavissa vaikkapa teknologisilla edistysaskeleilla. Tällaisesta kestävyyskäsitteen tulkinnasta seurauksena on esimerkiksi luonnon kantokyvyn yliarviointi ja kyvyttömyys tiedostaa tarve suojella luontoa ja muuttaa nykyisiä toimintatapoja (Davies, 2013). Heikkoon kestävyuden tulkintaan tukeutuvat mallit vaikuttavat yhä edelleen myös kasvatuksen alalla. Luvun 2 Taulukossa 2.6 esitettyjen kestävyteen liittyvien kasvatusnäkemysten sisällä on erilaisia painotuksia heikon ja vahvan kestävyuden välillä.

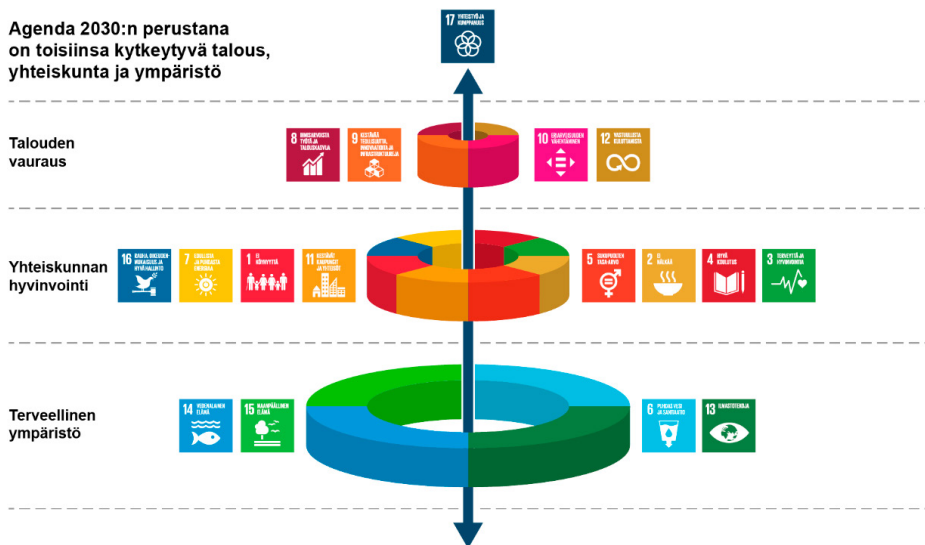


*Kuvio 5.1. Heikon ja vahvan kestävyysmallit. Piirretty uudelleen lähteestä Morandín-Ahuerma, ym. (2019) (CC-BY-SA 4.0)*

Verrattuna heikkoon kestävyysmalliin, vahva kestävyys sen sijaan rakentuu lähes päinvastaisen ajatuksen varaan (Giddings ym., 2002) (Kuvio 5.1). Vahvan kestävyysmallin oluttavuudet täydentävät mutta eivät voi korvata toisiaan (Jeronen, 2023b). Vahvan kestävyysmallin käsitettä voidaan luonnehtia esimerkiksi siten, että se sisältää tasapainoiset ympäristölliset, sosiaaliset ja taloudelliset näkökohdat paremman elämänlaadun turvaamiseksi nykyisille ja tuleville sukupolville tavoiteltaessa sukupolvien välistä tasa-arvoa, sukupuolten tasa-arvoa, sosiaalista suvaitsevaisuutta, köyhyyden lievittämistä, ympäristönsuojelua ja ennallistamista, luonnonvarojen suojelua sekä oikeudenmukaisten ja rauhanomaisten yhteiskuntien rakentamista (Jeronen, 2024). Myös YK:n kestävä kehityksen mallia kuvattiin aiemmin usein tasavahvojen tarpeiden ja toimien luettelona, mutta nykyisin se hahmotetaan monissa yhteyksissä mieluummin niin sanotun ”hääkakkukuvion” avulla. Siinä maapallon ekologiset reunaehdot, niin sanotut planetaariset rajat, antavat raamit muille toiminnolle (Rockström & Sukhdev, 2016) (Kuvio 5.2). Kuviossa kestävä kehityksen ekologisia, yhteiskunnallisia ja taloudellisia näkökohtia jäsennetään suhteessa toisiinsa korostaen luonnon kantokykyä. Lähtökohdaksi on, että planeetan elinkelpoisuus on edellytys kaikelle elämälle, ja siten myös yhteiskunnalliselle ja taloudelliselle kestävyydelle. Planetaarisia rajoja (Rockström ym., 2009) ih-

minen ei voi hallita, ja luonnon säilyttäminen ja suojeleminen ovat elinehtoja (ks. myös alaluku 2.4).

Agenda 2030:n perustana on toisiinsa kytkeytyvä talous, yhteiskunta ja ympäristö



Kuvio 5.2. YK:n kestävän kehityksen tavoitteiden uusi jäsenystapa. Kuva on suomennettu (suom. HELSUS) mukailien alkuperäistä kuvälähdettä: Rockstrom & Sukhdev, 2016 (Azote Images for Stockholm Resilience Centre), (CC BY 4.0)

Heikon ja vahvan kestävyys käsitteet sisältävät keskenään perustavanlaatuisella tavalla erilaiset ideat ihmisen luontokäsityksestä (tiedollinen tapa suhtautua ympäröivään luontoon) ja luontosuhteesta (tiedon lisäksi henkilökohtainen ja kokemuksellinen tapa suhtautua ympäröivään luontoon). Siten se sisältää myös käsitteellisen muutoksen haasteen (Haverinen ym., 2021). Luontosuhde kuvaa ihmisen tapaa asemoida itsensä suhteessa luontoon, esimerkiksi osaksi sitä tai siitä irralliseksi (Mayer & McPherson Frantz, 2004; Schultz, 2002; Skarstein & Skarstein, 2020). Ihmisen luontosuhteen ajatellaan vaikuttavan hänen motivoituneisuuteensa ympäristönsä tutkimiseen, suojelemiseen sekä kestävien elämäntapojen omaksumiseen ja siihen, annetaanko luonnolle arvo omana itsenään vai haetaanko luonnosta esimerkiksi taloudellista hyötyä

(Krebs, 1999; Schröter ym., 2014). Tämä tarve tarkastella uudelleen luontosuhdettamme osoittaa, että monet vakiintuneetkin käsitteet kaipaavat tarkennuksia ja toisinaan uudelleen määrittelyä. Esimerkkejä tällaisista ongelmallisista, valtakunnallisissa opetussuunnitelmien perusteissakin keskeisistä käsitteistä ovat *luonnonvarojen* ja *ekosysteemipalvelujen* käsitteet (esim. OPH, 2014, s. 381), jotka sisältävät oletuksen ihmisen ja luonnon erillisyydestä, luonnosta ihmisen resurssina ja edelleen ihmisestä luonnon kuluttajana (Schröter ym., 2014). Näitä käsitteitä käytettäessä opettajan tulisikin tuoda ilmi myös kriittinen näkökulma käsitteiden mukanaan kantamiin oletuksiin ja problematisoida luonnon prosesseihin (kuten pölyttäminen) ja fyysisiin entiteetteihin (kuten metsät) kohdistuva taloudellinen arvottaminen (Jax ym., 2013). Toisaalta tarkasteltavaksi voitaisiin ottaa myös käsite ”luonto” (nature) (Kuvio 5.1), joka sekini on hyvin monitulkintainen ja latautunutkin (vrt. sanat ”luonnollinen”, ”luonnonmukainen” ja ”luonnoton”) (Mill, 1874, 2006); ks. myös Luku 6.

Kestävyys-paradigman muuttuminen edellyttää käsitteellisen ymmärryksen laajentamista monella tavalla. Edellä kuvattiin tarvetta olemassa olevien käsitteiden uudelleen jäsentelyyn ja määrittelyyn. Tämän lisäksi muutos vaatii kokonaan uusien käsitteiden luomista. Esimerkki tällaisesta uudehkosta käsitteestä on *ekososiaalinen sivistys* (Salonen & Bardy, 2015; ks. myös alaluku 2.4). Käsitteen merkityksessä keskeisiä arvoja ovat avarakatseisuus, vastuullisuus ja kohtuullisuus. Yltäkyläisyyteen tottuneiden yhteiskuntien tulee kriittisesti uudelleen arvioida omia käsityksiään esimerkiksi siitä, mitä hyvä elämä on ja mitä sen mahdollistamiseksi tarvitaan (Salonen & Joutsenvirta, 2018; Värrä, 2019). Länsimaisissa yhteiskunnissa jatkuvan vaurauden tavoittelun ja taloudellisen kasvun on uskottu olevan hyvinvointia lisäävä tekijä, mutta esimerkiksi Suomen bruttokansantuotteen moninkertaistuminen ei ole lisännyt kansalaisten kokemaa tyytyväisyyttä elämäänsä kohtaan (Vaarama ym., 2010). Ekososiaalisen sivistyksen käsite on siis syntynyt tarpeesta sanoittaa uusi tapa tarkastella olemassa olevia arvoja ja oletuksia, mutta samalla se haastaa aikaisempia käsityksiämme sellaisista tutuista käsitteistä kuin hyvinvointi ja sivistys (ks. Värrä, 2019).

Ihmisillä on luontainen taipumus *ihmiskeskeiseen* eli antroposentriseen maailmankuvaan, jossa esimerkiksi muiden olioiden kehittyneisyyttä arvioidaan suhteessa siihen, kuinka ihmisen kaltaisia ne ovat (Hermann ym., 2010; Inagaki & Hatano, 2013). Ympäristöfilofiassa on pitkään kritisoitu ihmiskeskeisyyttä ja nykyään posthumanistisessa ajattelussa pyritäänkin tarkastelemaan uudella

tavalla ihmisen paikkaa luonnossa yhtenä eliönä muiden elollisten joukossa, mutta ei sen keskipisteenä (Krebs, 1999). Keskeistä on ajatus, jonka mukaan kestävä elämäntapa voidaan saavuttaa vain tunnustamalla eri eliölajien hyvinvoinnin yhteen kietoutuminen (Rupprecht ym., 2020). Antroposentrisen näkökulman vaihtoehtoiksi onkin ehdotettu biosentristä näkökulmaa, joka korostaa kaikkien elämänmuotojen ihmisestä riippumatonta itseisarvoa, ekosentristä näkökulmaa ja ekosysteemien tasapainoa (Almeida & Vasconcelos, 2013) sekä monilajista näkökulmaa, joka korostaa eliölajien keskinäisiä riippuvuussuhteita (Rupprecht ym., 2020). Näissä painotuksiltaan hieman erilaisissa näkökulmissa yhteistä on, että kyse on perustavanlaatuisesta paradigman muutoksesta ja sosiokulttuurisesta muutoksesta; siirtymästä ihmiskeskeisestä ajattelusta ”ihminen osana luontoa” -ajatteluun (Beery ym., 2023; Rupprecht ym., 2020; UNESCO, 2017, 2021). Kasvatuksen kentällä posthumanistinen ajattelu on aiheuttanut kuitenkin myös kritiikkiä ja eettisiä kysymyksiä, sillä koulun tulee keskittyä oppilaaseen ja hänen kasvuunsa, eikä vastuuta paremmasta maailmasta saa siirtää aikuisilta lapsille ja nuorille (Lindgren, 2020; Wolff ym., 2020). Opettajilla ja muille kasvatustieteen toimijoilla onkin edessään perustavanlaatuinen käsitteellisen muutoksen haaste ja pohdinta siitä, miten näkökulman muutoksen voi toteuttaa samalla taaten oppilaille turvallisen, myönteisen ja rohkaisevan lapsuuden ja nuoruuden (Värri, 2019).

Tässä luvussa on käsitelty käsitteellisen ymmärryksen ja käsitteellisen muutoksen roolia kestävyysosaamisessa ja -kasvatuksessa ensin tiedeoppimisen ja luonnontieteellisen lukutaidon kehittymisen ja sen jälkeen transformatiivisen kestävyyskasvatuksen sekä toimijuuden tukemisen näkökulmista. Luvussa on tarkasteltu lähemmin muutamia keskeisiä käsitteitä ja osoitettu esimerkinomaisesti niihin liittyviä tyypillisiä käsitteellisen muutoksen haasteita. Käsitteellisen muutoksen tarve voi siis kohdistua joihinkin olemassa oleviin käsitteisiin (kuten yhteiskunnassa yleisesti vallitsevaan kestävyys-käsitteen määritelmään), jotka ovat osoittautuneet vajavaisiksi tai toimimattomiksi. Tällaisesta käsitteiden uudelleen määrittelemisestä seuraa yksilöllinen käsitteellisen muutoksen tarve (ks. Luku 4), kun yksilön aikaisemmat käsitykset osoittautuvat olevan ristiriidassa uuden määritelmän kanssa. Luvussa esitetäänkin, että kestävyysosaamisen vahvistaminen edellyttää lukuisia, eri tasoilla tapahtuvia käsitteellisen muutoksen kokemuksia yksilötasolla ja yhteiskunnassa.

On paradoksaalista, että toimet tilanteen ratkaisemiseksi ovat olleet täysin riittämättömiä, vaikka ihmiskunta on hyvin tietoinen ja useimmat ihmiset hyvin huolissaan aiheuttamastaan ekologisesta kriisitalanteesta (Johnson ym., 2017). Kestävään elämäntapaan nojaavat käsitykset lienevät yhä edelleen vähemmistössä ja vaatii kansalaisrohkeutta nousta vaatimaan päättäjiltä tehokkaampia, tutkimustulosten perusteella välttämättömiä ja kiireellisiä toimia. Käsitteellisen muutoksen saavuttaminen on työläämpää silloin, kun se kohdistuu kiistanalaisiin käsitteisiin, jotka johtavat koulukuntien syntymiseen (Merenluoto & Lehtinen, 2002). Tarvitaankin edelleen parempaa ymmärrystä siitä, mikä on yksilön käsitteellisen ymmärryksen merkitys kestävien valintojen tekemisessä ja mitkä muut seikat vaikuttavat yksilöiden ja yhteisöjen niin kutsuttuun pro-ekologiseen käyttäytymiseen (Kollmuss & Agyeman, 2002; Lundholm, 2019).

Tässä luvussa on esitetty, että kestävyysosaamisen vahvistamisessa tarvitaan sen tiedostamista, että olemassa olevat perusoletuksemme, uskomuksemme ja aikaisemmat käsityksemme esimerkiksi ihmisen ja luonnon suhteesta voivat ratkaisevalla tavalla hankaloittaa tai jopa estää kestävää kehitystä ja uudenlaisen maailmankuvan rakentamista. Biologian opetuksessa tulee tukea paitsi lasten ja nuorten vahvaa käsitteellistä ymmärrystä, myös ymmärrystä käsitteiden roolista näkökulman määrittäjänä sekä vahvaa toimijuutta kestävyysosaamisen edistämiseksi. Opettajan ja kasvattajan rooli tässä oppimishaasteissa on aivan olennainen.

## Luku 6. Herkät ja kiistanalaiset teemat biologian opetuksessa

TUOMAS AIVELO

Biologisella tiedolla on yhteiskunnallisessa keskustelussa merkittävä rooli. Kun keskustelua käydään kiistanalaisista aiheista, omaa näkökantaa voidaan perustella viittaamalla ilmiön luonnollisuuteen tai biologisuuteen. Tällöin tarkoitetaan esimerkiksi asioiden tilaa, jota ihminen ei pysty muuttamaan tai jota ei pitäisikään muuttaa. Samalla biologia tulee vedetyksi mukaan poliittisiin kiistoihin ja vastakkainasetteluihin, ja toisaalta biologian oppiaineen sisällöt voivat saada uusia merkityksiä. Tässä luvussa selvitetään, miten herkät ja kiistanalaiset aiheet sisältyvät biologian opetukseen ja miten toisaalta yhteiskunnalliset prosessit voivat muuntaa biologian oppiaineen sisältöjä kiistanalaisiksi.

### 6.1 Biologian opetuksen henkilökohtaiset ja yhteiskunnalliset ulottuvuudet

Biologian opetuksen voimavara sekä samalla myös haaste on se, että biologia on toisaalta henkilökohtainen ja toisaalta yhteiskunnallisia kannanottoja nostava oppiaine (Lederman ym., 2014; Lewis & Leach, 2006; Zeidler ym., 2002). Biologian oppimäärään kuuluu niin elämän syntyyn, perinnöllisyyteen, seksuaalisuuteen, ympäristönsuojeluun, sukupuolisuuteen, eläinten tunteisiin kuin geenimuunteluunkin liittyviä asioita, jotka voivat herättää vahvoja tunteita (Owens ym., 2017). Leonardin (2010) mukaan monet biologian sisällöt kuten evoluutio, sukupuutot ja luontokato, ihmisen sukupuoli ja seksuaalisuus sekä elämän pituus ja kuolema ovat aiheita, joiden tutkimus ja opetus ovat aiheuttaneet yhteiskunnallisia ristiriitoja. Biologian sovellusaloihin kuuluvat menetelmät, kuten eliöiden kloonaukset ja geenimuuntelu ovat kiistanalaisia. Myös väestönkasvu ja eläinten oikeudet ovat aiheita, joista väitellään. Vaikka monet aiheet ovat herkkiä tai kiistoja herättäviä, aiheita tulee kuitenkin käsitellä biologian opetuksessa, sillä ne ovat oppijoille tärkeitä yleissivistyksen ja kriittiseksi kansalaiseksi kasvamisen kannalta (vrt. Sjöström & Eilks, 2018, 2020; Luku 2).



Tässä luvussa henkilökohtaisilla teemoilla tarkoitetaan sellaisia aiheita, jotka koskevat oppijaa henkilökohtaisesti esimerkiksi hänen itsensä, sukulaisten tai ystävien kautta (Phillips, 1997). Se, mikä on jollekin oppijalle abstraktista keskustelua, voi toiselle oppijalle olla hyvinkin konkreettista. Yhteiskunnallisilla teemoilla puolestaan viitataan sellaisiin aiheisiin, jotka ovat yhteiskunnallisen keskustelun ja esimerkiksi poliittisen päätöksen teon kohteina (vrt. YLU-kysymykset, alaluku 2.3). Jotkut teemat voivat olla sekä henkilökohtaisia että yhteiskunnallisia, kuten etnisyys, sukupuoli tai seksuaalisuus.

Tämä luku käsittelee ennen kaikkea *herkkiä* (sensitive) ja *kiistanalaisia* (controversial) asioita. Herkät aiheet ovat henkilökohtaisia ja ne voivat herättää oppijassa erilaisia tunteita kuten ahdistusta, turhautumista, surua, hämmennystä, epävarmuutta tai empatiaa, iloa ja helpotusta. Kiistanalaiset aiheet puolestaan herättävät yhteiskunnallisia ristiriitoja. Monet henkilökohtaiset aiheet eivät kuitenkaan ole välttämättä herkkiä. Yhteiskunnallisten aiheiden kiistanalaisuus voi puolestaan vaihdella paljon – tähän liittyy *kahtiajaon* eli polarisaation käsite, jota käsitellään alaluvussa 6.3. Siinä missä kiistanalaiset aiheet linkittyvät melko suorasti visioon 2 sekä yhteiskunnallis-luonnontieteellisiin aiheisiin (YLU-kysymykset, alaluku 2.3), herkät aiheet voivat liittyä kaikkiin kolmeen visioon, sillä ne voivat liittyä niin ilmiöiden ymmärtämiseen, niiden soveltamiseen kuin transformatiiviseen oppimiseen.

Tutkimuskirjallisuudessa käsitteitä herkkä tai kiistanalainen aihe on käytetty eri tavoin eikä aina johdonmukaisesti (Aivelo & Uitto, 2019; Levinson, 2006; Lynagh ym., 2010; Oulton ym., 2004; Reis & Galvão, 2009). Yhteiskunnallisten oppiaineiden opetuksen tutkimuksessa herkät aiheet liittyvät ennen kaikkea tiettyihin ihmisryhmiin tai vähemmistöihin kohdistuviin tai koettuihin historiallisiin vääryyksiin. Luonnontieteen opetuksessa herkäksi on kuvailtu mitä tahansa aihetta, joka herättää oppijoissa tunteita. Näitä tunteita voivat aiheuttaa yhteiskunnallisen keskustelun aiheuttama leimautuminen ja erilaiset tabut tai esimerkiksi asiat, jotka yhteiskunnassa on määritelty yksityisyyden piiriin kuuluviksi. Käsitteinä sekä herkkyyttä että kiistanalaisuutta on määritelty empiirisesti kyselemällä opettajilta ja oppijoilta aiheita, joista on vaikea keskustella tai jotka herättävät luokkahuoneessa tunteita (Aivelo & Uitto, 2019; Lynagh ym., 2010; Misco & Tseng, 2017; Phillips, 1997).

Yleissivistävän opetuksen arvoperusta ja ihanne on tuottaa aktiivisia kansalaisia, jotka osaavat ottaa kantaa yhteiskunnallisiin kysymyksiin ja osallistua

demokraattiseen yhteiskuntaan (esim. OPH, 2014, s. 15 ja 2019, s. 16). Deardenin määritelmän mukaan yhteiskunnallinen aihe on kiistanalainen, jos siitä voidaan *perustellusti* esittää vastakkaisia mielipiteitä (Dearden, 1981). Näennäisestä suoraviivaisuudesta huolimatta määritelmä sulkee ulkopuolelleen merkittävän osan asioista, joita on pidetty kiistanalaisina. Esimerkiksi biologian opetuksen tutkimuksessa evoluutiota ja kreationistien evoluutiovastustusta on pidetty ehkä kaikkein keskeisimpänä kiistanalaisena aiheena. Tämä ilmenee opettajien sisältövalintoja (Moore & Kraemer, 2005) ja oppijoiden evoluutiota ja kreationismia koskevista asennetutkimuksista (Cavallo & McCall, 2008). Deardenin määritelmän mukaan evoluutio ei kuitenkaan ole kiistanalainen aihe, koska kreationismi ei ole perusteltu näkökulma vaan lähtökohtaisesti epätieteellinen ideologia. Claire ja Holden (2007) puolestaan listaavat kiistanalaisuudelle useita vaatimuksia: 1) aihe on laajalti kiinnostava, 2) aiheesta on vastakkaisia arvoja ja mielipiteitä, 3) aiheesta on vastakkaisia tärkeysjärjestyksiä ja materiaalisia sidonnaisuuksia, 4) aihe voi herättää vahvoja tunteita ja 5) aihe on monimutkainen. Tiedekasvatuksen tutkimus onkin kartoittanut, minäkalaisia kiistanalaisia aiheita opetuksessa usein käsitellään. Ralph Levinson (2006) on tiivistänyt ne yhdeksään eri syyhyn (Taulukko 6.1a, b).

Henkilökohtaisella tasolla koulubiologia käsittelee sitä, miten ihmiset biologisina olentoina toimivat ja miten he ovat kehittyneet sellaisiksi kuin biologisesti ovat. Opetus toisaalta valaisee ympäristön vaikutusta oppijoiden omaan kehitykseen ja toisaalta antaa vihiä siitä, miten heidän valintansa muovaavat heitä itseään ja muita ihmisiä. Opetus selittää myös, miten osa oppijan olemuksesta on biologisesti perittyä edellisiltä sukupolvilta (OPH, 2014, 2019; Urry ym., 2019). Ihmisen biologian opetuksen liittyikin monia herkkiä ja kiistanalaisia aiheita (Aivelo & Uitto, 2019).

*Taulukko 6.1a. Yhdeksän pätevää syytä, miksi aihe voi olla luonnontieteen opetuksessa kiistanalainen Ralph Levinsonin (2006) mukaan. (Taulukko jatkuu seuraavalla sivulla)*

<b>Esimerkki</b>	<b>Todistusaineisto</b>	<b>Sosiaalinen ulottuvuus</b>
<i>1) Kun aiheesta ei ole tarpeeksi todistusaineistoa, mutta tulevaisuudessa sitä voidaan olettaa olevan riittävästi.</i>		
Aiheuttaako sian elinten siirtäminen ihmisille retroviruksien saamisen riskin? Retrovirukset ovat viruksia, jotka voivat sulautua isäntäsolun perimään ja aktivoitua myöhemmin uudelleen.	Etukäteen voi päätellä, mikä on riittävä aineisto, joka joko tukee tai kumoaa hypoteeseja.	Aineiston kertyminen ratkaisee kiistanalaisuuden.
<i>2) Kun aiheen ratkaisuun liittyvä todistusaineisto on ristiriitaista, monimutkaista tai vaikeaa arvioida.</i>		
Mikä on paras lääke sydän-taudin riskin vähentämiseen? Vähentääkö biopolttoaineiden käyttö hiilidioksidipäästöjä?	Tarvittava aineisto on hahmotettavissa, mutta on vaikea arvioida vaatimusten täyttyminen.	Osapuolten näkemykset voivat erota sekä johtopäätösten että todistusaineiston riittävyyden osalta. Yhteisymmärrys voi olla siitä, että uusi todistusaineisto voi mahdollistaa ongelman uudelleenmuotoilun ja osittaisen ratkaisun.
<i>3) Kun todistusaineisto voidaan tunnistaa, mutta sen painotuksesta ei ole yhteisymmärrystä.</i>		
Ilmastonmuutos todetaan merkittäväksi ongelmaksi, joka pitää ratkaista, mutta yhteisymmärrystä keinoista ei ole olemassa.	Osapuolilla voi olla yhteisymmärrys, että aineistoa on riittävästi, mutta se ei välttämättä vaikuta päätökseen, koska osapuolet painottavat sitä eri tavoin.	Kiistanalaisuus aiheutuu osapuolten arvojen eroista, ja ratkaisu on mahdollinen vain, jos osapuolet ovat yhtä mieltä siitä, että uusi aineisto poistaa aikaisemman epävarmuuksista.
<i>4) Kun samaan aikaan ei voida saavuttaa kaikkia hyviä lopputuloksia eikä ole yksimielisyyttä, miten lopputuloksia priorisoidaan.</i>		
Elinsiirto sialta ihmiselle voisi pelastaa potilaan, mutta toimenpide on vastoin uskonnollisia periaatteita.	Aineistolla ei ole väliä, koska kysymyksessä on perustavanlaatuinen eettinen erimielisyys.	Poliittinen tai juridinen prosessi voi ratkaista asian, mutta kiistanalaisuutta ei.

*Taulukko 6.1b. Yhdeksän pätevää syytä, miksi aihe voi olla luonnontieteen opetuksessa kiistanalainen Ralph Levinsonin (2006) mukaan. (Taulukko jatkuu edelliseltä sivulta)*

<b>Esimerkki</b>	<b>Todistusaineisto</b>	<b>Sosiaalinen ulottuvuus</b>
<i>5) Kun todistusaineisto voidaan yleisesti ottaen hyväksyä, mutta käsitteiden epäselvyyden perusteella tulkinnan tekeminen on vaikeaa.</i>		
Oikeuksien käsite, kun ne koskevat muita kuin syntyneitä ihmisiä, esimerkiksi eläinoikeuskeskustelussa tai alkuiden käytössä tutkimuksessa.	Avainasemassa on käsitteiden selventäminen ja vasta tämän jälkeen aineistolla on merkitystä.	Osapuolten välillä on jonkin tasoinen yhteisymmärrys, mutta tilanne ei ratkea nopeasti, jos käsitteiden käyttöönottoa vastustetaan.
<i>6) Kun aiheen ratkaisu johtaa erityyppisiin ja vaikutuksiltaan erilaisiin toimiin kiistan molemmiin puoliin, jolloin päätöksen tekeminen on haastavaa.</i>		
Turvetuotannon tai turkistarhauksen kieltäminen johtaa ammatinharjoittajien työttömyyteen.	Kuten kiistassa 2, todistusaineistoa voidaan tulkita eri tavoin eri puolilla kiistaa.	Osapuolten mielestä kiistassa on kyse merkittävästä asiasta, mutta mittasuhteiden hahmottamisesta ei päästä yhteisymmärrykseen.
<i>7) Kun kiistassa olennaisesta todistusaineistosta on erimielisyyttä.</i>		
Kuin kohdassa 9	Kuin kohdassa 9	Kuin kohdassa 9
<i>8) Kun elämäkokemukset aiheuttavat kiistan osapuolille erilaisen painituksen harkinnassa</i>		
Omat kokemukset vaikuttavat suhtautumiseen esimerkiksi sikiön perinnölliseen tutkimukseen.	Osapuolet tulkitsevat todistusaineistoa ja käyttävät sitä oman elämäkokemuksensa pohjalta.	Elämäkokemusten ja tarinoiden jakaminen voi selkeyttää osapuolten käsitystä toisen osapuolen päätöksenteosta.
<i>9) Kun ei ole yhteisymmärrystä, millaisella viitekehyksellä kiistaa pitäisi lähestyä.</i>		
Kreationistien kritiikki evoluutio-opetusta kohtaan.	Aineistolla ei ole väliä tai aineiston viitekehys on niin erilainen, ettei niitä voi tarkastella samassa yhteydessä.	Osapuolet eivät löydä yhteistä kohtaamisalaa.

Biologia määrittää myös ihmisen suhdetta muihin eliölajeihin. Se paljastaa, miten ihminen on laji muiden joukossa, ja myös osoittaa, miten ihminen eroaa muista eliölajeista. Yhteiskunta on perinteisesti ylläpitänyt kahtiajakoa ihmisen ja muun luonnon välillä (Neimanis, 2014) ja osaltaan biologia oppiaineena tukee tätä ajattelutapaa. Oppiaineen sisältöihin kuuluu esimerkiksi tieto siitä, miten luontoa ja muita eliölajeja voidaan käyttää hyödyksi (Huckle & Wals, 2015). Perusopetuksen opetussuunnitelmassa mainitaan luonnonvarojen kestävä käyttö, kestävä ravinnontuotanto, biotalous ja ekosysteemipalvelut (OPH, 2014). Tällöin biologian opetus samaan aikaan tukee luonnon hyötykäyttöä, mutta käsittelee myös eläinten oikeuksia esimerkiksi maataloudessa, koe-eläiminä ja lemmikkieläinten jalostuksessa. Aiheet ovat tällöin jo lähtökohtaisesti ristiriitaisia ja lisäksi kiistanalaisia, mikä tulee ottaa huomioon opetuksessa. Esimerkiksi argumentaatioharjoitusten avulla voidaan oppia käsittelemään kiistanalaisia aiheita, koska niiden kautta voidaan käsitellä erilaisia ajattelutapoja ja arvoja (Ottander & Simon, 2021, alaluku 2.3).

Geenimuuntelu avaa uuden näkymän siihen, miten ihminen vaikuttaa luontoon ja sen eliöihin. Opettajilla ja oppilailla voi olla hyvin monenlaisia näkemyksiä geeneistä ja geenimuuntelusta (Aivelo & Uitto, 2021). Suhtautumiseen heijastuu myös se, millainen merkitys geenimuuntelulla katsotaan olevan ruoantuotannossa ja -valmistuksessa ja millaista keskustelua aiheesta käydään yhteiskunnallisella tasolla (European commission, 2010; Sendhil ym., 2022). Euroopan Unionissa on perinteisesti suhtauduttu kriittisemmin bioteknologian ja geenitekniikan käyttöön ruoantuotannossa kuin esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Kiinassa tai muissa kehittyvissä maissa (Sendhil ym., 2022). Toisaalta Euroopassa on suhtauduttu sallivammin lääketieteeseen liittyvään bioteknologiaan kehitykseen kuin Yhdysvalloissa, jossa esimerkiksi kantasolututkimus on kohdannut vastustusta (Thompson, 2015).

## 6.2 Biologian opetus ja oppijan maailmankatsomus

Opetuksen tavoitteena on osaltaan tukea oppijoiden maailmankatsomuksen muodostumista. Erityisesti biologian perusopetukseen sisältyy tavoite oppijoiden luontosuhteen ja ympäristötietoisuuden kehittymisestä sekä toiminnasta kestävänsä tulevaisuuden hyväksi (OPH, 2014). Lukion tavoitteissa taas korostuvat eliökunnan monimuotoisuuden säilyttämisen merkitys, kestävänsä

kehityksen välttämättömyyden tiedostaminen ja toiminta myönteisten ratkaisujen puolesta (OPH, 2019).

Maailemankatsomus tarkoittaa ihmisen kokonaiskäsitystä maailmasta. Se sisältää käsityksen todellisuudesta, sen rakenteesta ja luonteesta, tavoista saada tietoa todellisuudesta sekä ihmisen arvoista (Niiniluoto, 1984). Nämä osat eivät ole erillisiä toisistaan. Ihmisen arvot vaikuttavat siihen, miten hän ymmärtää maailman ja miten hän hankkii tietoa maailmasta. Toisaalta havainnot maailmasta voivat muuttaa ihmisen arvoja. Maailemankatsomusta on jäsennetty eri tavoin. Tietopuolta on esimerkiksi nimitetty maailemankuvaksi ja arvopuolta taas elämäkatsomukseksi.

Koulussa ja erityisesti luonnontieteiden opetuksessa painottuu tieteellinen maailemankuva, ajatus siitä, että tieteellinen menetelmä tiedonhankkimiseen tuottaa luotettavinta tietoa maailmasta. Suomalaisen yleissivistävän koulutuksen arvopohja on määritelty yhteisesti koko koulutusjärjestelmälle, ja se perustuu demokraattisen läntisen yhteiskunnan pohjalla oleville arvoille (OPH, 2014, 2019). Oppiaineet ovat pitkälti vastuussa tieteellisen maailemankuvan välittämisestä oman oppiaineensa puitteissa sekä omaa oppiainettaan vastaavan tieteellisen tutkimuksen osalta että myös yleisen tieteellisen ymmärryksen osalta. Kestävyyskriisit aiheuttavat biologian opetukselle ristiriitaisen aseman. Toisaalta opetus mahdollistaa kulutuskeskeisen ideologian mukaisten näkemysten omaksumisen (Stearns, 2006), vaikka kulutuskeskeisyys on johtanut nykyisiin ilmasto- ja luontokatokriiseihin. Toisaalta yhä enemmän opetussuunnitelmissa korostuvat kestävyyskriiseihin liittyvät tiedolliset kokonaisuudet ja painotukset siitä, miten estää näitä kriisejä pahentumasta (Huckle & Wals, 2015; Nocella ym., 2019; Pedersen ym., 2022).

Biologialla on elämän ilmiöitä opettavana oppiaineena merkittävä asema, koska kestävyyskriiseistä monet, kuten ilmastonmuutos, ympäristön pilaantuminen, tuotantoeläinten kohtelu ja luonnon monimuotoisuuden köyhtyminen kohdistuvat kaikkeen elolliseen, ihminen mukaan luettuna. Biologian oppiaineeseen kuuluu nykyisen maailman kriisien, kuten luontokadon tai ilmastonmuutoksen opetus (OPH, 2014, 2019). Tämä aiheuttaa olennaisen huolen: miten biologian opetus voi samaan aikaan ylläpitää kulutuskeskeisen yhteiskunnan arvomaailmaa, mutta myös suhtautua kriittisesti nykymaailman kehityskuluihin. Mikä on biologian opetuksen rooli arvokasvattajana?

Siinä missä yleissivistävällä koulutuksella on julkilausuttu transformatiivinen tehtävä, opetus ei aina pysty tätä tehtävää täyttämään (Fornaciari & Männistö, 2015). Yhtenä syynä tähän voi olla, että esimerkiksi luonnontieteiden opettajat usein väistävät opetuksessaan yhteiskunnallisia aiheita (Pedretti ym., 2008) tai niitä käsitellään lähinnä biologian sisältötietoon painottuen (Tidemand & Nielsen, 2017). Tämä osoittaa, että tutkimukseen osallistuneet aineenopettajat ovat kokeneet olevansa lähinnä oppiaineensa sisällön asiantuntijoita eivätkä niinkään oppiaineiden yhteiskunnallisten verkostojen asiantuntijoita.

Koulun tavoitteleva maailmankatsomuksen kehittyminen vastaa yhteiskunnallisena ideaalina hyvän kansalaisen mallia (Huckle & Wals, 2015). Yhteiskunnallisena tavoitteena on elämäntapojen muuttuminen kestäväksi, mutta poliittista yksimielisyyttä tämän murroksen toteuttamisen tavoista on vaikea saavuttaa, mikä heijastuu myös kouluopetukseen. Esimerkiksi biologian osalta pinne näyttäytyy siinä, että kestävyysmurroksen suuruuden edessä biologian opetussuunnitelmat ovat kunnianhimoittomia: oppijoita *ohjataan* kestävään elämäntapaan ja he *saavat valmiuksia* vaikuttaa ja osallistua lähiympäristönsä huolehtimiseen. Yksi biologian tavoitteista on, että oppilas *innostuu* vaikuttamaan ja toimimaan kestävä tulevaisuuden puolesta. Tämä on laimea muotoilu verrattuna yleisen osan linjaukselle, jonka mukaan ”Ihminen on osa luontoa ja täysin riippuvainen ekosysteemien elinvoimaisuudesta. Tämän ymmärtäminen on keskeistä ihmisenä kasvussa. Perusopetuksessa tunnustetaan kestävä kehityksen ja ekososiaalisen sivistyksen välttämättömyys, toimitaan sen mukaisesti ja ohjataan oppilaita kestävä elämäntavan omaksumiseen” (OPH, 2014, s. 16). (vrt. Luku 3).

Ympäristövastuullisuutta ja arvokasvatusta kestävä tulevaisuuden puolesta korostetaan perusopetuksessa enemmän kuin lukio-opetuksessa. Lukio-opetuksessa puolestaan korostetaan ihmisoikeuksia ja yhteiskuntaa ylläpitäviä tehtäviä. Lukiossa ”rakennetaan osaamisperustaa ympäristön ja kansalaisten hyvinvointia edistävälle taloudelle” (OPH, 2019, s. 17). Lukion opetussuunnitelman perusteissa biologian tavoitteiden painopisteenä on oppijoiden ympäristöosaamisen *kehittäminen* ja *halu* vaalia luonnon monimuotoisuutta. Tavoitteena on, että oppija ”*rohkaistuu* toimimaan myönteisten ratkaisujen puolesta” (OPH, 2019, s. 236, vrt. Luku 3).

On avoin kysymys, onnistuuko kestävyysmurros ilman maailmankatsomuksellista murrosta, mutta transformatiivista oppimisteoriaa tulkiten (Mezirow,

1997) tämä ei ole mahdollista. Tilanteessa, jossa samanaikaisesti opetetaan, miten ihmiset elävät kestävästi, mutta jossa ei pystytä tarjoamaan tai inspiroimaan toiveikkaiden tulevaisuuksien kuvitelmia, opetuksen jatkuva riski on kyynisyyteen kasvattaminen (Pedersen ym., 2022). Minkälainen siten olisi tämän vuosituuhannen biologian opetussuunnitelman perusteet, jossa otettaisiin huomioon sekä nykyiset haasteet että biologian asema oppiaineena, ja jolla olisi annettavaa haasteiden ratkaisuihin? Vähimmäisvaatimuksena voisi pitää sitä, että oppijoiden on pohdittava ja luotava kuvitelmia toiveikkaista tulevaisuuksista (Ratinen & Uusiautti, 2020), jotka olisivat oikeudenmukaisia niin ihmisille kuin muille eliöille (Ojala ym., 2012). Tässä spekulatiivisuudessa on kuitenkin naiviuden vaara, sillä oppijoiden olisi opittava toimimaan niin, että nämä kuvitelmat voisivat edes osittain toteutua (Stengers, 2010). Mielikuvitus kuitenkin on aikakautensa, esimerkiksi markkinatalousjärjestelmän, vanki ja kuvittelemisen taito vaatii aikaa, tilaa ja nöyryyttä (Pliushchik ym., 2024). Stein ym. (2022) muotoilevat vaatimuksen niin, että opetuksessa pitää siirtyä kestävä kehityksen kasvatuksesta kohti ”tuntemamme maailman lopun kasvatusta” (education for the end of the world as we know it).

### 6.3 Vastakkainasettelun kentät

Suurista kestävyyyteen liittyvistä kysymyksistä ei ole poliittista yhteisymmärrystä. Tarve vähentää hiilidioksidipäästöjä tai suojella luonnon monimuotoisuutta on laajalti hyväksytty, mutta kun aletaan puhua keinoista, tilanne polarisoituu. Polarisoituvia aiheita yhdistää, että ne ovat maailmankatsomuksen näkökulmasta niin sanotusti *tahmaisia* (sticky issues; Ahmed, 2004); näihin aiheisiin voi tarttua erilaisia arvolutauksia, jotka eivät lopulta ole erotettavissa itse ilmiöstä. Kulttuuriset ja poliittiset tekijät vaikuttavat siihen, miten esimerkiksi ihmisryhmien välisiä eroja, kuten uskonnollisia tai poliittisia näkemyksiä tai seksuaalisuutta ilmaistaan ja ymmärretään eri yhteisöissä (Evans, 2003). Esimerkiksi Yhdysvalloissa biologian opetuksessa merkittäviä polarisaation aiheita ovat evoluutio ja kreationismi ja papilloomavirusrokotteet, jotka Euroopassa eivät ole merkittäviä polarisaation aiheita. Euroopassa puolestaan geenimuunnellut eliöt ovat voimakkaasti polarisoitunut tema, mutta Yhdysvalloissa näin ei ole (Thompson, 2015).

Polarisaation selittämisessä on käytetty kahta eri teoriaa: *informaation puute -mallia* (information deficit model, Dickson, 2005) ja *kulttuurisen ymmär-*



*ryksen teoriaa* (cultural cognition theory, Kahan, 2012). Informaation puute-malli ehdottaa, että keskeinen syy tieteenvastaisuuteen on riittämätön tieto tieteiden menetelmistä ja tuloksista. Tämä teoria antaa tiedekasvatukselle suoraan tehtävän: kun ihmisille opetetaan enemmän tieteestä, he suhtautuvat myös myönteisemmin tieteeseen. Osittain päinvastaisesti kulttuurisen ymmärryksen teoria esittää, että ihmiset arvioivat kohtaamiaan riskejä pelaillen niitä omiin arvoihinsa. Yhdysvaltalaisessa kontekstissa esimerkiksi individualistisia arvoja kannattava ihminen suhtautuu myönteisemmin esimerkiksi yritystoimintaan ja teollisuuteen ja siten pitää yritystoiminnan riskiä ympäristötuhojen osalta huomattavasti pienempänä kuin yhteisöllisiä arvoja kannattavat ihmiset (Newman ym., 2018b).

Kulttuurisella ymmärryksellä on merkitystä biologian opetuksessa; mitä vahvemmin yksilön mielipide edustaa polarisaation ääripäitä, sitä enemmän hän myös saattaa tietää kiistanalaisesta aiheesta. Esimerkiksi Yhdysvalloissa kaikkein vankimmin evoluution kieltävät henkilöt myös tietävät enemmän evoluutiosta kuin vähemmän polarisoituneet (Kahan, 2017). Tällöin tieteellinen lisätieto ei välttämättä vähennä kielteistä asemoitumista tieteellistä tietoa kohtaan, vaan voi entisestään lisätä sitä. Kulttuurisen ymmärryksen teorian mukaan ihmiset uskovat asioista tietyllä tavalla, koska he kuuluvat tiettyyn ryhmään, jossa pitää uskoa tietyllä tavalla. Ihmiset todennäköisemmin luottavat asiantuntijaan, joka jakaa heidän kulttuurisen viitekehityksensä ja vaikka ihmiset hankkivat lisätietoa, he valikoivat omaan ajatusmalliinsa soveltuvat tiedot vahvistamaan uskomuksiaan entisestään (Kahan ym., 2010).

Polarisaation todellisuus on yhdistelmä tiedon puutetta ja kulttuurista ymmärrystä. Tieto auttaa hyväksymään ja ymmärtämään erilaisia ilmiötä sekä suhtautumaan esimerkiksi ympäristöriskeihin, mutta jos suhtautuminen ympäristöongelmiin tai muihin ilmiöihin on tahmeasti (Ahmed, 2004) kiinni tietynlaisessa sosiaalisessa ryhmässä, tämä lisätieto ei ole enää hyödyllistä. Erilaisten asenteiden ja arvojen kulttuurinen tahmeus on tunnistettavissa esimerkiksi ”vihervasemmistolainen”-termissä, johon rakentuu tietynlainen odotus ympäristöasenteista (ilmastonmuutoksen vastustaminen, kasvissyönnöti), talouteen ja valtion rooliin liittyvistä asenteista (viranomaissääntely, verotus) ja sosiaalisista asenteista (liberaalit asenteet sukupuoli- ja seksuaalivähemmistöihin, päihteisiin) (Pyrhönen, 2015).

Biologian opetuksessa polarisaation purkamista on tutkittu vähän (Levy ym., 2019). Kyvyttömyys muuttaa mielipidettä ja poliittinen aktiivisuus eivät kuitenkaan aina liity suoraan toisiinsa ja opetusmenetelmien valinnan avulla voidaan edistää sekä osallisuutta että mielipiteiden muuttumista uuden tiedon kertyessä (Levy ym., 2019; Ottander & Simon, 2021). Reissin (2008) mukaan merkitystä voi olla myös sillä, vahvistavatko opetuksen tiedolliset tavoitteet oppijan identiteettiä tai tiettyihin ryhmiin kuulumisen tai kuulumattomuuden tunnetta. Tämä voi aiheuttaa haastavia tilanteita, jolloin opetuksessa tulee ottaa huomioon sellaisten arvojen ja asenteiden esilletulo, jotka käsiteltäviin aiheisiin on julkisessa keskustelussa tarttunut. Esimerkiksi uskonnollisuus korreloi vahvasti kreationismin kanssa (Kuschmierz ym., 2021). Tärkeää on, että oppijoilla on mahdollisuuksia pohtia omia ja muiden arvoja yhdenvertaisesti, ja että koulussa voi tehdä työtä, jolla oppija voi sovittaa yhteen identiteettiään, kulttuurista taustaansa ja poliittisia mielipiteitään. Oppijoita ei pitäisi myöskään suoranaisesti kannustaa valitsemaan kiistanalaisissa aiheissa puolia (Levy ym., 2019) vaan oppia keskustelemaan ja argumentoimaan eri näkökulmista (Ottander & Simon, 2021; ks. alaluku 2.3).

Uskottavimmiksi ja turvallisimmiksi koettuja lienevät opettajat, jotka eivät ota polarisoitunutta kantaa kiistanalaiseksi tai sensitiiviseksi koettuihin asioihin, vaan selvittävät aiheita asiallisesti oppijoiden kanssa keskustellen ja heidän identiteettiään kunnioittaen (vrt. Kahan ym., 2010; Ottander & Simon, 2021, Luku 3). Olennaisia ovat opetuksen eettiset periaatteet ja opettajien moraalinen ammattimaisuus (De Keijzer ym., 2022) eli se, että opettajat refleктоivat omia arvojaan sekä näiden vaikutusta opettamiseen ja oppimiseen (vrt. Luku 3). Tärkeää on myös stereotyyppien aktiivinen kyseenalaistaminen opetuksen aikana. Se, että oppijalla tai opettajalla on esimerkiksi jokin poliittinen asennoituminen tiettyyn asiaan, ei tarkoita, että tämän takia häneen olisi takertunut muitakin vastaanlaisia asenteita. Harva opettaja tai oppija on stereotyyppisten ryhmäidentiteettien mukainen. (Huddy, 2001).

## 6.4 Evoluutio ja kreationismi esimerkkinä vastakkainasettelusta

Perinteinen biologian alaan kuuluva kiistanaihe on evoluutio, sillä sitä on pidetty ajatuksena, joka kieltää jumalalta paikan maailman luoja. Kun Darwinin evoluutioteoria ensimmäisen kerran muotoili yhtenäisen ja kattavan esityksen evoluutiosta, kirkko asettui vankasti evoluutioteoriaa vastaan (Greene,

1959). Vaikka evoluutio ajatuksena kehittyi hitaasti satojen vuosien ajan eikä sinänsä ollut valtava käsitteellinen murros aikansa älymystölle, sen yhteiskunnallinen vaikutus oli suuri. Evoluution muotoilu tieteelliseksi käsitteeksi osui 1800-luvun lopulla yhteiskunnalliseen murrokseen, jossa jumalien aseman lisäksi valtaapitävien asema oli murtumassa, ja demokraattiset ajatukset sekä työtätekevien edustus olivat yleistymässä (Amundson, 1998).

Parin sadan vuoden aikana, ja etenkin 1900-luvun alkupuolella, evoluutiosta on tullut biologiassa keskeinen tieteellinen selitysmalli – ”*nothing in biology makes sense except in the light of evolution*” (Dobzhansky, 1973), joten biologian opetuksen kannalta evoluution ymmärtämistä ja hyväksymistä pidetään olennaisena. Evoluutiota tarjotaan toistuvasti mahdolliseksi punaiseksi langaksi, joka voisi luoda biologian opetukseen yhtenäisen käsitteellisen viitekehksen (esim. Larkin & Perry-Rider, 2015; Wei ym., 2017; Wiles, 2010).

Euroopassa evoluutio on ollut alkujaankin melko laajasti hyväksyttyä, ja tieteelliset toimijat ja heidän perässään opetusviranomaiset ja opettajat hyväksyivät evoluution keskeisen aseman nopeasti (Kuschmierz ym., 2021). Pohjois-Amerikassa sen sijaan poliittiset kiistat evoluutiosta ovat jatkuneet huomattavan pitkään (Scott, 2009). Yhdysvaltalaisessa luonnontieteen osuudesta mittaavassa testissä ei ole voinut kysyä evoluutioon liittyviä kysymyksiä, koska nuo kysymykset mittaavat ennemminkin sitä, miten uskonnollisia oppijat ovat kuin sitä, miten hyvin he osaavat luonnontiedettä (Kahan, 2017).

Evoluution vastakohtaksi on asetettu kreationismi, joka sisältää selitysmalleja, joissa jumala on luonut sekä maailman että ihmisen. Kreationistiset kehitysmallit perustuvat kirjallisiin Raamatun tulkintoihin ja *älykkään suunnittelun* (intelligent design) teorioihin (Scott, 2009). Edellisten mukaan jumala on luonut maailman noin 6 000 vuotta sitten. Jälkimmäisten mukaan jokin – ei välttämättä kristillinen jumala – on luonut elävät eliöt, jotka sitten ovat voineet kyllä muuttua, mutta lähinnä rappeutua, eivät tuottaa uusia monimutkaisia piirteitä (Numbers, 2006).

Kreationismi ei ole tieteellinen teoria, koska jumalallisen luojan roolia ei pystytä todistamaan – tai popperilaisessa hengessä ennemminkin ei ole mahdollista todistaa, että jumala on luonut tai ei ole luonut maailmaa (vrt. Luku 4). Joskus kreationismia toivotaan evoluution rinnalle biologian opetukseen eräänlaiseksi kilpailevaksi teoriaksi, joskin Suomessa tämä on harvinaisem-

paa (Setälä, 2008). Opetussuunnitelmat eivät sisällä kreationismin opetusta, sillä opetussuunnitelmien sisällöt perustuvat tieteelliseen tietoon, ja niiden tavoitteena on edistää tieteellisen maailmankuvan ymmärtämistä ja luonnon-tieteellistä lukutaitoa.

Evoluution ja kreationismin välisen poliittisen kamppailun ratkaisemiseksi biologian opetuksessa on tarjottu tutkimuksessa monia erilaisia vaihtoehtoja ja lähestymistapoja (Glaze & Goldston, 2015). Yhteistä niille on, että asenteet evoluutiota kohtaan ovat kulttuurisesti hyvin vaihtelevia. Yhdysvalloissa evoluutio-opetuksen ongelmana on ollut esimerkiksi se, että jotkut opettajat pelkäävät opettaa evoluutiota, koska se voi herättää oppilaisissa tai etenkin oppilaiden vanhemmissa vastustusta ja johtaa mahdollisesti jopa oikeuskäsittelyihin (Griffith & Brem, 2004). ”*Teaching the controversy*” on ollut yksi tapa opettaa evoluutiota: lähteä rohkeasti kohti haastavaa kokonaisuutta (Oulton ym., 2004). Tässäkin on ongelmana se, ettei kreationismi ole tieteeseen perustuva lähestymistapa. Kysymyksenä ei ole niinkään erilaiset faktapohjalta saavutettavat arvovalinnat vaan se, miten arvovalinta ohjaa käsitystä tieteellisen tiedon sisällöstä ja luonteesta (ks. Levinsonin yhdeksäs kiistanalaisuuden luonne, Taulukko 6.1). Oma kysymyksensä on se, mikä evoluutio-opetuksen tavoite on. Onko tavoite se, että oppija *hyväksyy* evoluution keskeisenä luonnonhistoriaa muovaavana prosessina? Onko tavoite se, että oppija *uskoo* evoluutiota tapahtuneen? Vai onko tavoite se, että oppija *tietää* ja *ymmärtää*, mitä evoluutio tarkoittaa? Näissä tavoitteissa on eroja.

Cohenin (1992) mukaan uskominen on autoritaaristen yhteiskuntien indokriinaatiota eli epädemokraattisten järjestelmien pyrkimystä iskostaa asioita oppijoihin. Demokraattisen yhteiskunnan tiedeopetus puolestaan auttaa oppijoita ymmärtämään evoluutioteoriaa, jonka jälkeen he osaavat valita kilpailevien teorioiden joukosta sopivimman ja hyväksyä sen paikkansapitävyys (Snook, 1972). Smith ja Siegel (2019) kehittivät tätä ajatusta edelleen argumentoimalla, että oppijoiden pitäisi uskoa, että evoluutio on paras tieteellinen selitysmalli luonnonhistorialle ja että evoluutioteoria on pääsääntöisesti paikkansapitävä. Heidän vasta-argumenttinsa mukaan tiedeopetuksen tavoitteena lähtökohtaisesti on, että oppija ymmärtää, että hänelle opetettavat asiat ovat tosiasioita ja että tämä tavoite ei ole siinä mielessä epäilyttävä, kuin Cohen tavoitteen esittää olevan. Snookin (1972) mukaan evoluution paikkansapitävyyteen uskominen ei ole uskonnollista tai ideologista eli dogmaattista uskomista vaan rationaalisen valinnan lopputuloksen uskomista. Tässä hengessä suomalaisissa opetus-

suunnitelmien perusteissa korostetaan, että oppijan pitäisi hahmottaa ja ymmärtää evoluution toiminta ja merkitys (ks. OPH, 2020, 185; OPH, 2019, 235).

## 6.5 Eläimet biologian opetuksessa

Länsimaisen kulttuurin historia on luonnon hyväksikäytön historiaa: tämä heijastuu esimerkiksi tapoihin ja määriin, joilla ihmiset pitävät kotieläimiä tai käyttävät luonnonvaroja (Haraway, 2015). Viime vuosikymmeninä eläinten ja ympäristön hyväksikäyttöä on alettu hahmottamaan huomattavasti aiempaa laajemmin (Cochrane ym., 2018). Tämä näyttäytyy myös erilaisina oppijoiden identiteetteinä: lihan syömistä saatetaan pitää epäeettisenä tai eläinten käyttöä tieteen tekemisessä saatetaan karsastaa. Merkittävä osa biologian oppiaineesta liittyy eläimiin, ja biologia tieteenä pyrkiikin tuottamaan tietoa eläimistä ja niiden toiminnasta. Tämä välttämättä herättää kysymyksiä siitä, miten ihmisten ja eläinten väliset suhteet rakentuvat että siitä, miten biologian tiedon tuotannossa eläimiä käytetään hyväksi.

Eläimillä on monenlaisia rooleja, jotka näkyvät myös biologian eri osa-alueissa: eläimet ovat esimerkiksi ruokaa, tuholaisia, luokassa olevia olentoja, luonnon monimuotoisuutta, seuralaisia, tautien levittäjiä, kokeellisen tutkimuksen kohteita, esimerkikkappaleita, lajiensa edustajia, indikaattoreita tai ihmisten lähisukulaisia. Eläinten rooli ei siis missään mielessä typisty yhteen kysymykseen tai eläinten käyttöön tietystä tapauksesta, vaan se leikkaa laajalti läpi koko biologian tiedonalan. Vastaavasti monet eläinten ja ihmisten välisiin suhteisiin liittyvät kysymykset eivät ensisijaisesti ole biologisia kysymyksiä vaan esimerkiksi historiallisia tai yhteiskunnallisia kysymyksiä.

Tässä alaluvussa ei pyritä kattavaan esitykseen, vaan esimerkinomaisesti osoitetaan, miten eläimet voivat olla eri tavoin herkkiä tai kiistanalaisia teemoja biologian opetuksessa.

### *Eläinten oikeudet*

Biologian opetuksessa tyypillisesti hyväksytään voimassa olevat yhteiskunnalliset tavat hyväksikäyttää eläimiä (Nocella ym., 2019; Pedersen, 2021). Luokkahuoneessa tapahtuukin törmäyksiä silloin, kun oppilaiden omakoh-

taiset kokemukset eläimistä ja yhteiskunnallisesti tavanomaiset tai ainakin lailliset tavat käyttää hyödyksi eläimiä kohtaavat (Pedersen, 2008). Oppilaalla saattaa olla esimerkiksi lemmikkieläimenä rotta, joka on älykäs, sosiaalinen ja persoonallinen yksilö, mutta koulussa oppilas saattaa kohdata rotan raadon, jonka tappamisen oikeutuksena on käytetty sitä, että rottia voidaan kasvat-  
taa esimerkiksi koe-eläimeksi tai käärmeen ruuaksi. Koulu ei välttämättä aina onnistu parhaimmilla tavalla näiden kahden näennäisen ristiriitaisen lähesty-  
mistavan käsittelyssä (Pedersen ym., 2022).

Koe-eläinten käytöstä tai tuotantoeläimistä ei voi nykyään puhua ilman, että otetaan huomioon, miten eläimiä käytetään hyödyksi ja miten niiden kohtaa-  
maa kipua ja kärsimystä pyritään vähentämään (Pedersen, 2010). Nykyään on helposti kyseenalaistettavissa aiemmin laajalti hyväksytty ajatus siitä, että ih-  
minen on lähtökohtaisesti oikeutettu käyttämään ravinnokseen muita eläimiä ja tekemään kivuliaita tieteellisiä kokeita eläimillä (Singer, 2013). Tämä näkyy myös entistä selvemmin luokkahuoneessa, jossa on todennäköisesti oppijoita, jotka eettisen näkemyksensä vuoksi eivät halua hyväksyä kuolleista eläimistä otettujen näytteiden leikkelemistä (De Villiers & Monk, 2005).

Ruuantuotanto on yksi biologian keskeisistä aiheista. Suomalaisiin opetus-  
suunnitelman perusteisiin on 1800-luvun lopulta lähtien kuulunut vahvasti ruuantuotanto ja osana tätä eläintuotanto (Jeronen & Helander, 2012). Siinä missä aiemmin eläintuotannon eettinen ulottuvuus on rajoittunut lähinnä eläinten oikeuksiin, nykyisin siihen kuuluvat myös muut ympäristövaikutuk-  
set, erityisesti ilmastonpäästöt ja rehevöittävät päästöt (Kahn, 2003).

Eläintuotannosta keskustellaan jatkuvasti yhteiskunnallisesti, joten näiden keskustelujen syventämisellä tai tiedollisen pohjan tarjoamisella on luonnol-  
linen paikka biologian opetuksessa (Pedersen, 2010). Eläinten hyvinvointi ja lajityypillisten käyttäytymispiirteiden mahdollistaminen ovat ristiriidassa eläinten tehotuotannon kanssa, jossa pyritään maksimoimaan esimerkik-  
si käyttöön saatava proteiinin määrä kasvatukseen laitettua energiaa koh-  
ti (Swanson, 1995). Jo tämä esimerkki osoittaa, että keskusteluun vaadittava taustatieto ulottuu eläinten käyttäytymisestä fysiologian kautta ekosysteemie-  
kologiaan sekä linkittyy laajoihin ympäristökysymyksiin.

Eläintuotanto sisältää myös eläinten jalostamisen. Aihe kuuluu erityisesti luki-  
on biologian oppimäärään (OPH, 2019, s. 241). Geneettistä muuntelua koskeva

eettinen keskustelu linkittyy myös uskonnollisiin uskomuksiin, asenteisiin eläimiä kohtaan ja ympäristöasenteisiin (Castéra ym., 2018). Eläinten jalostaminen liittyy tuotantoeläinten lisäksi myös lemmikkeihin ja opetuksen yhteydessä voidaankin käsitellä esimerkiksi epäterveiksi jalostettuja koirarotuja.

Koe-eläinten tutkimuskäyttö on olennainen kehys biologian oppiaineessa. Luonnontieteiden opetuksessa korostuu yhä enemmän luonnontieteellisen tiedon luonne (nature of science; Abd-El-Khalick ym., 1998; Lederman ym., 2014; Luku 2). Tämän kautta voidaan tarkastella esimerkiksi *mallilajin* käsitettä, joka helpottaa selittämään koe-eläinten käytön historiaa ja nykypäivää. Eläinten kipuun ja kärsimykseen ei suhtauduta enää yhtä sallivasti kuin aiemmin. Oppijoiden voi olla vaikea hahmottaa, kuinka paljon oppiaineesta perustuu mallilajeilla tehtyyn tutkimukseen ja toisaalta miten vähän ihmisen biologiasta tiedetään. Biologian tuottama tieto perustuu kuitenkin laajalti mallilajien käyttöön. Erityisesti tämä korostuu kehitysbiologiassa, jossa eliöiden yksilönkehityksen alkio- ja sikiövaiheiden tutkimusta on tehty koe-eläimiä käyttäen. Esimerkiksi tämän luvun kirjoittaja on käsitellyt opetuksessaan *alkiokehityksen ensimmäisten vaiheiden* eli gastrulaation jälkeisten alkioiden rakenteita eri eläimillä ja kysynyt alkioita kuvaavien piirrosten avulla ensimmäisen vuoden biologian oppijoilta, mikä piirroksista kuvaa ihmisen alkioita. Kukaan oppijoista ei ole tiennyt asiaa ja yli puolet oppijoista on arvannut merisiiliä – klassista mallieläintä – ihmisen alkioiksi. Esimerkki kertoo siitä, miten heikko tietämys koe-eläinten käytöstä vaikeuttaa keskustelua eläinkokeiden merkityksestä.

Eläinten käyttöä koskevat mielipiteet ovat muuttuneet myös yliopisto-opetuksessa. Siinä missä vielä 2010-luvulla ajateltiin, että eläintieteeseen erikoistuvien on tehtävä *eläinten avauksia* (dissektioita) ja opeteltava lopettamaan eläimiä ja tekemään eläinkokeita (Balcombe, 1997), nykyään eläintieteilijäksi voi valmistua ilman näiden toimenpiteiden oppimista. Samalla tieteelliseen tutkimukseen käytetään enemmän koe-eläimiä kuin koskaan (Knight, 2011). Tutkijat joutuvat jatkuvasti pohtimaan, minkälainen tutkimus täyttää eläinkokeita säätelevän lainsäädännön ja sopimusten kriteerit ja toisaalta minkälaista tutkimusta he itse ovat valmiita tekemään. Opetuksessa tulee pohtia sitä, miten kukin oppija voi osallistua koululaborointeihin eettistä tai terveydellisistä syistä, kuten allergiat, ja toisaalta tehdään erot sen suhteen, mikä on laillista, mikä on eettistä ja mikä on kunkin henkilökohtainen valinta (Balcombe, 1997; Barr & Herzogl, 2000). Eläinten aseman eettinen pohdinta ei saa kuiten-

kaan typistyä vain eläinten hyvinvointiin (Kopnina & Cherniak, 2015). Biologian opetuksen kannalta olennainen näkökulma on myös maailmanlaajuinen luontokato, joka johtaa tuhansien eliöläjien sukupuuttoon.

### *Eläimet luokkahuoneessa ja ulkona*

Biologiassa eläimet ovat olennainen oppiaineen sisältöä ja eläinten käyttö opetuksessa on usein tarpeen. Elävän eläimen tarkastelu opetuksessa parantaa monissa tapauksissa oppimista lisäämällä oppijoiden kiinnostusta ja motivaatiota opetettavaan aiheeseen (Hummel & Randler, 2012). Erytisen arvokas oppimisen ja eläinsuhteen kehittymisen näkökulmasta on asenteiden muuttuminen aluksi epämiellyttävänä koettua eläinlajia kohtaan. Epämiellyttävänä koetun eläimen kohtaaminen ja tutkiminen on havaittu vähentävän eläimen koettua epämiellyttävyyttä (Prokop & Fančovičová, 2017; Randler ym., 2012).

Eläinten sisä rakenteen tutkiminen on ollut yksi tyypillinen tehtävä biologian koululaboroinneissa (Pojjärvi, 1989). Tavallisia preparoitavia eläimiä ovat kalat (usein ahven) ja harvinaisempaan lajivalikoimaan kuuluvat esimerkiksi kastemato, simpukka, rapu tai hiiri. Ihmisen biologian opetuksessa voidaan tutkia nisäkkäiden elimiä, kuten lampaan tai riistalajien sisäelinten tai silmän rakennetta. Kokonaisten elinten hankkiminen opetukseen voi kuitenkin olla hankalaa, sillä tarvittavaa opetusmateriaalia toimittavia pieniä tilateurastamoja on vähän. Opetuksessa käytettäviä kaloja, rapuja ja sisäelimiä voidaan hankkia elintarvikekaupoista tai kauppahalleista.

Eläinten käyttöä luokkahuoneessa rajoittaa moni laki: eläinsuojelulaki (247/1996), laki tieteellisiin tai opetustarkoituksiin käytettävien eläinten suojelusta (”Koe-eläinlaki”, 497/2013), luonnonsuojelulaki (9/2023), metsästyslaki (615/1993) ja laki vieraslajeista aiheutuvien riskien hallintaan (1709/2015) (ks. Aluehallintovirasto, Koe-eläimet, n.d.). Tiivistetysti voidaan todeta, että biologian luokkaan ei saa tuoda eläviä rauhoitettuja selkärankaisia eläimiä eikä oppitunnilla eläimiä saa käyttää eläinkokeisiin. Muidenkaan luonnonvaraisten selkärankaisten eläinten käyttäminen kouluopetukseen ei ole pedagogisesti perusteltua. Yleensäkin eläinten käyttämistä opetuksessa ei pidä perustella pelkästään tiedollisten ja taidollisten tavoitteiden toteuttamisen kannalta, vaan on pohdittava, millaista suhdetta eläimiin opetus vahvistaa (Pedersen & Pini, 2017). Opetuksessa on syytä tarkastella kriittisesti eläinten roolia



opetuksessa: Miten täytettyjä eläimiä käytetään opetuksessa? Miksi ja millä menetelmillä kaloja tutkitaan? Miksi tuoda vesikirppuja läheisestä vesistöstä tutkittavaksi?

## *Luonnonvaraisten eläinten kanssa eläminen*

Oppilaat kohtaavat elämässään paljon luonnonvaraisia eläimiä. Jotkut näistä kohtaamisista ovat ohimeneviä ja sinänsä melko merkityksettömiä, kuten karpäsen hätisteleminen pois mehulasista. Monet eliölajien kohtaaminen voi kuitenkin olla ihmisen kannalta merkittävää niin hyvässä tai pahassakin: ampiainen saattaa pistää, punkki tartuttaa borrelioosin tai siilipoikanen tarvitsee pelastamista lintuverkosta.

Elinympäristön jakaminen luonnonvaraisten eläinten kanssa ei ole ihmisille yksinkertaista (Woodroffe ym., 2005). Kansalaistaitoihin kuuluu eläinten toiminnan ymmärtäminen sekä ihmisen ja eläinten vuorovaikutuksen huomioiminen omassa toiminnassa. Hyttysiin varaudutaan käyttämällä pitkähihaisia ja -lahkeisia vaatteita, punkkien varalta tehdään päivittäin punkkitarkastus, marjapensaita suojataan rastailta ja ikkunoihin lisätään heijastavia asioita, jotta linnut eivät lennä ikkunaa päin.

Luonnon monimuotoisuuden kriisi on ehkä merkittävin biologian tieteenalaan ja opetukseen kuuluva kestävyysongelma. Olennaista on ihmisten ja luonnonvaraisten eläinten välinen suhde, johon biologian opetus osaltaan vaikuttaa. Oppijoiden suhtautumista luontoon ja ympäristöön on tutkittu runsaasti ja tiedetään, että esimerkiksi luokkahuoneen ulkopuolinen opetus ja lajituntemus motivoivat ja tukevat luonnosta oppimista sekä luovat myönteisiä asenteita luontoa kohtaan (Palmberg & Kuru, 1998; Palmberg ym., 2018; Uitto ym., 2006). Biodiversiteetin, tai yksittäisten eläinlajien tai -yksilöiden merkitystä ihmisten huolenpidon tai empatian herättäjinä tai vastuullisen ja kestäväen toiminnan vahvistajina ei kuitenkaan tunneta. Toistaiseksi on vähän tutkimusta siitä, miten asenteet yksittäistä eläinyksilöä tai tiettyä eliölajia kohtaan voivat edistää koko biodiversiteetin suojelua. Ihmiset välittävät suhteellisen harvasta eliölajista, minkä vuoksi luonnonsuojelun lippulaivalajeina käytetään isoja ja näyttäviä tai empatiaa herättäviä eliölajeja, kuten tiikereitä, jääkarhuja, pandoja tai saimaannorppia. Luontodokumenteissa toistuu usein sama suhteellisen rajallinen lajisto, ja esimerkiksi eurooppalaiset koululaiset pitävät luontodoku-

menteista tuttujen afrikkalaisten eliölajien suojelua tärkeämpänä kuin oman lähiympäristönsä eliölajeja ja niiden suojelua (Ballouard ym., 2011).

Toisaalta monia eliölajeja pidetään epämiellyttävänä tai niistä ei ylipäänsä välitetä (Rose & van Dooren, 2011). Yli puolet maailman lajistosta on loisivia lajeja suolistomadoista erilaisiin tautia aiheuttaviin bakteereihin (Windsor, 1998). Ihminen luokittelee monia eliölajeja haitallisiksi, tuhlaisiksi tai epätoivotuiksi, vaikka ne ovat olennainen osa luonnon monimuotoisuutta. Usein nämä eliölajit ovat niitä, jotka elävät lähimpänä ihmistä, koska ne tulevat parhaiten toimeen ihmisen luomassa tai muokkaamassa elinympäristössä. Monokulttuuripellossa menestyvät rikkaruohomyrkkyyä sietävät rikkaruohot, sängynjaloissa vilisevät lutikat tai jäteastiassa peuhaavat rotat ovat luonnonvaraisia eläimiä, mutta samalla niin riippuvaisia ihmisestä, että ne ovat oikeastaan ihmisenvaraisia lajeja. Inhon tunteet eivät kuitenkaan estä oppilaita kiinnostumasta yleisesti epämiellyttävänä pidetyistä eliölajeista. Oppijoiden suhtautuminen esimerkiksi ihmisten ympäristöissä eläviin rottiiin vaihtelee myönteisestä kielteiseen (Aivelo & Huovelin, 2020). Aivelon ja muiden (2023) tutkimuksessa oppijoiden kiinnostus ja myönteiset asenteet niin rottia, luontoa kuin biologian oppimistakin kohtaan havaittiin olevan yhteydessä herkkyyteen reagoida vahvemmin myös inhoa herättäviin asioihin. Inhon tunteita pidetään sisäsyntyisinä, mutta asenteet eri eliölajeja kohtaan ovat puolestaan laajalti opittuja. Mielenkiintoiselta vaikuttaa, että synnynnäinen (ympäristö) herkkyyys ei niinkään suuntaa luontosuhteen kehitystä, mutta se voi vahvistaa sitä (Setti ym., 2022).

Biologian opetuksessa ei ole perinteisesti oltu kiinnostuneita ihmisen seuralaisista eli eliölajeista, jotka tulevat toimeen piholla, puistoissa ja asunnoissa. Monesti opetuksessa painotetaan harvinaisia, vaikeasti havaittavia tai uhanalaisia lajeja. Usein on merkittävämpää kohdata kerran harvinainen laji kuin elää yleisten lajien kanssa päivittäin (Ganzevoort & van Den Born, 2019). Kaupunkiekologiaa koskeva tutkimus (Niemelä, 1999) on valottanut lähilajiemme merkitystä ja roolia osana luonnon monimuotoisuutta. Kaupunkikoulujen sijainti voi tehdä koulun ulkopuolisen biologian opetuksen haasteelliseksi (vrt. Luku 8). Oppilaat voivat kuitenkin tutustua lähiympäristön lajistoon kaupunkiekologisten tutkimusten avulla, jotka käsittelevät esimerkiksi kodin hyönteisiä tai asfaltin rakojen kasveja (Bertone ym., 2016; Bonthoux ym., 2019).

## 6.6 Biologinen determinismi opetuksen sivutuotteena

Keskeinen tieteellinen kysymys on, mikä tekee ihmisestä sen yksilön, joka hän on. Tätä pohdittaessa biologia on keskeinen oppiaine, koska ihmiset ovat eläimiä, joiden toimintaa osaltaan ohjaa munasolun ja siittiön perimä sekä niissä sijaitsevat biomolekyylit. Myös ihmisen aivot ja siten ihmisen ajatukset ovat solujen välistä sähkökemiallista viestintää, yhteyksien syntymistä ja yhteyksien purkautumista. Biologia koskettaa siten esimerkiksi kysymystä siitä, onko ihmisellä vapaa tahto vai ovatko aivojen reaktiot kaikki määrättyneitä (Lavazza, 2016). Onko vain kuvittelua, että ihmisen teot perustuvat vapaaseen tahtoon? Samanlaisia kysymyksiä voidaan kysyä geenien vallasta ihmisen elämässä: miten paljon geenit vaikuttavat esimerkiksi siihen, kuinka älykäs ihmisestä tulee tai mitä puoluetta hän äänestää? Nämä ovat esimerkkejä aiheista, joita voi tulla esille myös biologian opetuksessa. Kysymykset liittyvät tavalla tai toisella biologiaan, mutta painottuvat arvoihin ja yhteiskunnallisiin kysymyksiin (vrt. Sjöström ja Eilks, 2018; Luku 2). Tällöin asian käsittelyssä tarvitaan paitsi biologian tietoja, myös taitoja käyttää niitä uudessa kontekstissa.

Biologinen yksilönkehitys määräytyy osin deterministisesti perimän pohjalta. Tieteellisen käsityksen mukaista ajatusta geenien määräämästä yksilönkehityksestä voidaan kutsua tieteelliseksi biologiseksi determinismiksi (Aivelo & Uitto, 2015). Determinismiin liittyy myös virhekäsityksiä, joita on kutsuttu vahvaksi ja heikoksi determinismiksi. Edellisen näkemyksen mukaan geenit määräävän piirteiden kehityksen ja jälkimmäisessä tapauksessa ympäristön vaikutus on geneeistä erillinen ilmiö (Aivelo & Uitto, 2015).

Biologisessa determinismissä törmää oikeastaan kaksi erilaista ja eri biologian aloihin liittyvää ajatusta siitä, mikä on keskeinen tutkimuksen kohde ja mitä biologia tieteenä selittää. Solu- ja molekyylibiologian tavoitteena on selittää mekanistisia toimintatapoja (proksimaattisia syitä, vrt. Luku 1), miten solut toimivat, miten niiden aineenvaihdunta toimii ja miten solut kasvavat ja lisääntyvät. Tällöin tavoitteena on ennemminkin löytää universaaleja sääntöjä tai aineenvaihduntareittejä, joissa poikkeukset yleensä ovat sairauksia (jotka puolestaan saavat näin selityksensä ja ehkä mahdolliset hoidon kohteet). Evoluutioon läheisemmin kytkeytyvät alat, kuten ekologia, fysiologia tai evoluutiogenetiikka, puolestaan kiinnittävät huomiota enemmän vaihteluun, joka toimii evoluution käyttövoimana. Tällöin ei oleteta, että kaikki yksilöt ovat samanlaisia, vaan pyritään etsimään syitä sille, miksi ne ovat erilaisia ja missä

rajoissa tämä erilaisuus ilmenee (ultimaattisia syitä, vrt. Luku 1). Näiden alojen näkökulmasta ihmisen keskeinen piirre on se, että ihmiset ovat loistavia sopeutumaan lähes mihin tahansa tilanteeseen. Kun biologiassa sitten rakennetaan kokonaiskuvaa yhdestä eliölajista – esimerkiksi ihmisestä – selityksiä tarjoavien biologian alojen ristiriidat tulevat näkyviksi.

Kysymys siitä, mitkä sisäsyntyiset tai ulkoiset tekijät vaikuttavat ihmisen yksilönkehitykseen olisi pelkästään akateeminen kysymys, ellei se olisi myös keskeinen osa ihmisten maailmankatsomuksesta. Biologiseen determinismiin liittyy merkittävä poliittinen kysymys siitä, kuinka paljon painotetaan yksilöllisyyttä ja kuinka paljon yhteisön vaikutusta (Donovan, 2014). Se, onko ihmisellä vapaa tahto, on yhteiskunnallinen kysymys, mutta biologinen determinismi voi tarjota helpomminkin lähestyttäviä kysymyksiä kuten: Miten ihmisen älykkyys riippuu geeneistä ja minkä verran koulutus vaikuttaa siihen? Onko seksuaalisuus periytyvää ja voiko homosta muuttua heteroksi? Kuinka paljon geenit altistavat kansantaudeille ja miten paljon elintavat vaikuttavat sairastumiseen?

Geeneihin liittyy herkkiä aiheita, sillä geenit kertovat esimerkiksi terveydentilasta tai sukulaisuussuhteista. Nykylääketieteessä käytetään yhä enemmän henkilökohtaisen lääketieteen (personalized medicine) lähestymistapoja, joissa muun muassa selvitetään potilaan koko perimä ja tämän jälkeen arvioidaan erilaisten hoitokeinojen tehoja (Salari ym., 2013). Perimää voi tutkia myös kaupallisten palvelujen kautta, joiden avulla voi etsiä sukulaisia tai selvittää, onko itsellä geenit, jotka tuottavat esimerkiksi kosteaa korvavaikkua. Kaupallisissa palveluista saa yleensä vähän henkilökohtaista tukea tulosten tarkasteluun, jolloin geenitesti voi olla oppijoille hämmäyttävä kokemus (Van der Zande ym., 2012; Walsh, 2012). Tässäkin asiassa oppija saattaa hakea apua ja tukea biologian opettajilta.

Biologisen determinismin suhteen opetuksessa keskeistä on ymmärtää, että kyse on pitkälti todennäköisyyksistä. Harvat geneettiset sairaudet ovat niin suoraviivaisia, että ne toimivat lukiogenetiikassa opetettavalla yksinkertaisella mendelistisellä logiikalla. Nykyään tutkimuksen pohjalla pyritään laskemaan esimerkiksi *polygeenisiiä riskiarvoja* (polygenic risk score), joilla pyritään hahmottamaan, kuinka monet geenialleelit yhdessä vaikuttavat kyseiseen riskiin sairastua (Lewis & Vassos, 2020). Tällöin tuloksena voi olla vaikkapa, että ih-

misellä on 1,7-kertainen riski keskiarvoon nähden saada esimerkiksi sydän- ja verisuonitauti.

Suomalaisessa koulussa perinteisesti oppiaineiden rajat ovat olleet vahvoja, ja tämä saattaa vaikeuttaa monimutkaisten aihekokonaisuuksien hahmottamista eri oppiaineiden välillä. Apuna voivat olla esimerkiksi elämänkatsomustiedon ja terveystiedon kaltaiset monitieteiseen pohjaan perustuvat oppiaineet, joissa ollaan esimerkiksi biologiaa tai yhteiskuntaoppia kokeneempia sovittelemaan yhteen erilaisia näkökulmia (Hienonen ym., 2022).

## 6.7 Queer-näkökulma sukupuolen ja seksuaalisuuden opetukseen

*Queer-näkökulman* (queer theory, esim. Butler, 2006) tavoitteena on kiinnittää huomio sukupuoleen ja seksuaalisuuteen, joka ilmenee kaksijakoisen sukupuoli- ja heteroseksuaalisuuden ulkopuolella. Tämä näkökulma tulisi ottaa huomioon myös biologian opetuksessa, koska se liittyy sekä biologian tiedonalaan että kulttuurisiin tulkintoihin siitä, mitä sukupuoli ja seksuaalisuus ovat yksilön ja yhteiskunnan kannalta.

Lyhyesti määriteltynä queer-näkökulmassa kyseenalaistetaan sosiaalisten rakennelmien heteronormatiivisuus ja cis-normatiivisuus. Heteronormatiivisuus tarkoittaa ajattelutapaa, jossa heteroutta pidetään toivotumpana, luonnollisempana ja parempana kuin muita suuntautumisia (European Institute for Gender Equality [EIGE], n.d). Cis-normatiivisuus puolestaan on ajattelutapa, jonka mukaan ihmiset kuuluvat jompaankumpaan sukupuoleen ja kokevat syntymässä määritellyn sukupuolen omanaan (Santalahti, 2024). Queer-tutkimuksen lähestymistapana syntyi 1990-luvulla sukupuolentutkimuksen piirissä ja myöhemmin lähestymistapaa on sovellettu niin kasvatustieteissä kuin biologian tutkimuksessa. Suomessa queer käännettiin aluksi sanalla ”pervo”, mutta tämä käänös ei vakiintunut kieleen (Rossi & Sudenkaarne, 2021).

Queer voi olla myös sukupuoli- tai seksuaali-identiteetti, joka korostaa sukupuolen ja seksuaalisuuden itsemäärittelyä. Identiteettinä queer voi tarkoittaa, että henkilö ei halua määritellä sukupuoltaan tai seksuaalista suuntautumistaan mihinkään tiettyyn ryhmään kuuluvaksi. Seksuaalisuuden ja sukupuoli-suuden moninaisuuden paljastuessa näitä kuvaava käsitteistö on kasvanut viime vuosina ja muuntuu yhä edelleen. Monet ihmisöikeusjärjestöt, esimerkiksi

Sukupuolen moninaisuuden osaamiskeskus (SETA), julkaisevat ajantasaista tietoa sukupuolen ja seksuaalisen suuntautumisesta, jota voidaan hyödyntää myös opetuksessa.

Eliökunnan näkökulmasta biologinen sukupuoli on monimuotoinen ilmiö; sukupuolia voi olla useita, ne voivat vaihdella tai sukupuolia on vain yksi, kuten neitseellisesti lisääntyvällä hyönteisillä. Ihmisellä kuten muillakin nisäkkäillä biologinen sukupuoli liittyy lisääntymiseen naaras- ja koirastyypisten sukusolujen avulla. Sukupuolen sanotaan määräytyvän sukupuolikromosomien avulla: tyypillisesti miehillä on XY- ja naisilla XX-kromosomit. Perinteisesti sukupuoli on puolestaan määritetty sukuelinten avulla. Yleensä ihmiset päättävät henkilön sukupuolen ulkonäköön liittyvien niin sanottujen sekundääristen sukupuoliominaisuuksien perusteella. Piirteet voivat kuitenkin olla ristiriidassa keskenään: XX-kromosomiselle voi kehittyä penis ja primääriset ja sekundääriset sukupuoliominaisuudet voivat olla eri sukupuolien. Piirteet voivat olla myös intersukupuolisia eli henkilöllä voi olla sekä maskuliinisia että feminiinisiä biologiseen sukupuoleen liittyviä fyysisiä piirteitä.

Ihmisen biologinen sukupuoli ei ole siis yksinkertainen tai kaksijakoinen käsite. Butlerin ym. (2006) mukaan sukupuoli ja seksuaalisuus ovat *performatiivisia* eli jatkuvaan toistoon perustuvia kielellisesti ja kehollisesti, esimerkiksi eleiden avulla tuotettuja asioita. Nämä diskursiivisesti tuotetut asiat voivat muokata voimakkaasti uskomuksia ihmisen sukupuolesta ja seksuaalisuudesta. Vastaavasti biologitkin sukupuolta tutkiessaan toisintavat käsityksiä sukupuolesta. Tällöin performatiivisuus vaikuttaa myös siihen, miten biologinen sukupuoli – joka tieteellisestikin on varsin monimuotoinen ilmiö – on määriteltävä kaksijakoisesti eläimillä ja erityisesti ihmisillä. *Kokemus sukupuolesta* eli sukupuoli-identiteetti on vielä monimuotoisempi. Sukupuoli-identiteetin taustalla ovat biologisten tekijöiden lisäksi psyykkiset, kulttuuriset, kasvatukselliset ja sosiaaliset tekijät. Muiden tieteenalojen kuin biologian alueella sukupuolella on vielä muitakin määritelmiä ja sisältöjä (Lempiäinen, 2003). Tämä johtaa siihen, että ”sukupuoli” tarkoittaa eri asioita erilaisissa asiayhteyksissä.

Seksuaalisuudella puolestaan tarkoitetaan ihmisen valmiutta, kykyä ja pyrkimystä kokea eroottista tai seksuaalista mielihyvää sekä tapoja, joilla ihminen niitä ilmaisee. Seksuaalisuus on merkittävä omaan identiteettiin ja kehitykseen liittyvä tekijä. Käsitykset seksuaalisuudesta ovat historiallisesti ja kulttuurisesti vaihtelevia. Bildjuschkin (2015) määrittelee seksuaalisuu-

den kuuluvan ihmisen perusolemukseen hänen kaikissa elämänsä vaiheissa ja rakentuvan muun muassa sukupuolen, sukupuoli-identiteetin ja -roolien, seksuaalisen suuntautumisen, läheisyyden ja vuorovaikutteisuuden ja lisääntymisen kautta. Seksuaalisuuteen ja sen ilmentämiseen vaikuttavat monet biologiset, psykologiset ja sosiaaliset seikat, mutta myös yhteiskunnallisesti määräytyvät historialliset, poliittiset, lainsäädännölliset asiat sekä arvoihin liittyvät ennakkokäsitykset ja uskomukset.

Seksuaalisuuden hahmottamisen suhteen perusopetus samoin kuin toisen asteen koulutuskin ovat muuttuneet nopeasti. Vuosikymmen sitten kaikki oppijat heteroseksuaaleiksi olettava eli heteronormatiivinen opetus oli valtavirtaa (Reiss, 2018). Tutkimusten perusteella ei-heteroksi identifioituvat oppijat tunsivat olonsa ulkopuoliseksi, eivätkä kokeneet koulun seksuaalikasvatuksen juurikaan koskettavan heitä (Lehtonen, 2010). Koulu voi olla yhä varsin heteronormatiivinen ympäristö, mutta nykyään opetukselta tulee edellyttää, ettei siinä lähtökohtaisesti oleteta oppijaa heteroksi ja esimerkiksi oppijan unelmakumppania vastakkaisen sukupuolen edustajaksi. Vastaavasti koulu on muuttunut aikaisempaa helpommaksi ympäristöksi myös seksuaalivähemmistöihin kuuluville opettajille, joiden ei enää tarvitse varoa yhtä paljon kuin aikaisemmin seksuaalisuutensa esiintuomista esimerkiksi puhuttaessa puolison sukupuolesta.

Biologialla oppiaineena on aina ollut oma asemansa sukupuoli- ja seksuaalikasvatuksessa, mutta terveystiedon tultua omaksi oppiaineekseen vuonna 2001 biologian asemaa on tarkasteltu uudelleen. Biologian ja terveystiedon välillä on syntynyt tapa jaotella seksuaalisuuteen liittyvä tiedonala (Räsänen, 2016). Edellinen painottaa seksin biologista puolta ja esimerkiksi hormonaalista säätelyä jälkimmäinen puolestaan seksuaalisuuteen liittyviä kansalaistaitoja ja laajempaa ihmisenä kasvamista. Tämä muutos poisti biologian opetuksesta seksin ja jätti jäljelle lähinnä lisääntymiseen johtavan yhdynnän: esimerkiksi ihmisbiologian oppikirjoissa seksistä on jäänyt jäljelle oikeastaan lähinnä lisääntyminen (Aivelo ym., 2022). Lisääntymiseen ja seksiin liittyä kuitenkin aina ihminen kokonaisuutena, joten uusi käytäntö voi vaikeuttaa oppilaiden yhteyden hahmottamista oman kehonsa, tunteidensa, sukupuoli-suutensa ja seksuaalisuutensa välillä. Biologian opettajat voivat tukea oppilaita kokonaisuuden hahmottamisessa käsittelemällä seksiä ja seksuaalisuutta opetuksessaan, kuten muitakin herkkiä aiheita (Aivelo & Uitto, 2019).

Seksuaalisuuden muuttuminen lisääntymiseksi biologian oppikirjoissa voi johdattaa takaisin heteronormatiivisuuteen opetuksessa. Opettajat ja oppijat tietävät ja ymmärtävät kyllä, että on muitakin kuin heteroseksuaalisia ihmisiä, mutta jos biologiassa puhutaan vain lisääntymisestä, se jättää oppiaineen ulkopuolelle seksuaalisuudesta merkittävän osan samoin kuin suurimman osan eri tavoista harrastaa seksiä. Samalla riskinä on uusintaa sukupuoliroolit lisääntymisen näkökulmasta – esimerkiksi naiset näyttäytyvät biologian oppikirjoissa ensisijaisesti äiteinä. Sen sijaan isä ei oppikirjoissa erotu (Aivelo ym., 2022).

Biologiaa ei voida pitää ihmisbiologian opetuksen suhteen kriittisenä luonnontieteellisenä oppiaineena, kun terveystietoon siirtynyt aines on poistunut. Anatomiaan ja fysiologiaan (toisin sanoen seksuaalisuuden osalta yhdyntään ja lisääntymiseen) painottuva ihmisen biologian opetus voikin absurdisti näyttäytyä kokonaisuutena, joka edistää *sukupuolista hegemoniaa* eli heteronormatiivisuutta ja länsimais-kristillistä kolonialismia ja sen vaatimaa lisääntymisen eetosta (Bazzul & Sykes, 2011; Broadway, 2011; Lemke, 2011). Tämä taas saattaa toiseuttaa seksuaalivähemmistöihin kuuluvat ja antaa kuvan, ettei biologia koske heidän seksuaalisuuttaan ja että heidän seksuaalisuutensa on jopa jollain tavoilla luonnon.

Mikä sitten olisi *queer-näkökulma* eli kriittisesti seksuaalisuutta ja sukupuolta tarkasteleva lähestymistapa ihmisen biologian ja lisääntymisen opetukseen? Yksi mahdollisuus voisi olla se, että ihmisen elämänkaarta ja sen aikana tapahtuvia muutoksia tarkasteltaisiin monipuolisesti. Näin voitaisiin laajentaa keskustelua ihmisten välisestä vaihtelusta ja sitä selittävistä tekijöistä. Murrosiän biologiasta puhumisen haaste on se, että murrosikä helposti kuvataan ylimenovaiheena, jossa lapsesta kasvaa valmis aikuinen (Qvortrup, 2009). Teinit ovat ikään kuin ei-valmiita aikuisia. Tämä näkökulma on biologiassa omiutuinen, koska biologisesti ajateltuna ihmisen pitää olla sopeutunut kussakin elämänvaiheessa kyseisen elämänvaiheen haasteisiin, eikä ihmisen kehityksen kaari pääty aikuisuuden saavuttamiseen, vaan jatkuu vielä vanhuuteen ja kuolemaan.

Toinen hegemoniaa horjuttava lähestymistapa voisi olla esimerkiksi hormonien toiminnan ja vaikutuksen kriittinen tarkastelu. Hormoneja on käsitelty opetuksessa tyyppillisesti tavalla, jolla on rakennettu pojista miehiä ja tytöistä naisia. Foucault (1975) käytti hormoneista puhumista juuri yhtenä esimerkkinä siinä, miten biovaltaa rakennetaan. Foucaultin (1975) määritelmän mu-



kaan biovalta on hallinnan teknologia, joka tekee tieto-valta -muodostumista keinon hallita ihmisen elämää. Biovallan näkökulmasta hormonit ovat mielenkiintoinen biologisen determinismin muoto, koska hormonit epäilemättä vaikuttavat ihmisen käyttäytymiseen, ja niitä voidaan käyttää käyttäytymisen selittämiseen, niitä voidaan mitata ja niillä on sukupuolittaisia eroja. Kiihottumisenkin suhteen hormonit ovat keskeisiä, mutta niitä saatetaan käyttää myös syyppinä käytökseen, etenkin esimerkiksi teinien tai naisten kohdalla (Oudshoorn, 1994; Nehm & Young, 2008).

Kolmanneksi seksistä on puhuttava myös biologiassa muutenkin kuin lisääntymisenä. Teini-iässä seksi on mielessä, joten olisi omituista olla sivuuttamatta seksin kaikkia muita merkityksiä kuin lisääntymistä.

Seksuaalisuuteen liittyy läheisesti sukupuoli. Sukupuoli on ollut suomalaisen koulun historian aikana jatkuvasti muuttuva teema, lähinnä yhteiskunnallisten vaatimusten ja keskustelujen takia (Jauhiainen, 2016). Feminismin ensimmäisen ja toisen aallon kuohuista kouluun asti päättyi ajatus siitä, että miehet ja naiset ovat tasa-arvoisia (Michel, 1986). Koulu on tämän ajatuksen kanssa taistellutkin tähän asti, kunnes kolmannen aallon feminismin seurauksena sukupuolijako dekonstruoiitiin. Nykyään opetussuunnitelmissa mainitaan, että opetuksen tulee lisätä ymmärrystä sukupuolen moninaisuudesta (OPH, 2014, 2019).

Suomalainen koulutus on pitkään ollut etenkin juhlapuheissa tasa-arvoon pyrkivä, mikä ilmenee myös opetussuunnitelmissa. Samaan aikaan miehiin ja naisiin liittyvät stereotypiat ovat olleet merkittävä osa suomalaisen koulun piilo-opetussuunnitelmaa (Lehtonen, 2010). Myös oppikirjat uudentaneet ja toistaneet monia stereotypioita (Wilmot & Naidoo, 2014). Perinteisesti biologian oppikirjoissa moni asiakokonaisuus esitetään sukupuolittuneesti, mikä voi olla puutteellista tai jopa virheellistä tietoa. Esimerkiksi estrogeenejä on kutsuttu naishormoneiksi ja androgeenejä, kuten testosteronia, on kutsuttu mieshormoneiksi, vaikka sekä miehet että naiset erittävät kaikkia näitä hormoneja (Reiss, 2018). Vielä 1990-luvulla biologian oppikirjat olivat sangen stereotyyppisiä. Niissä puhuttiin poikien ja tyttöjen eroista osoittelevasti. Oppikirjojen mukaan pojat ovat tyttöjä raisumpia ja loukkaavat itsensä fyysisesti helpommin, kun taas tytöt välittävät mitä muut ajattelevat ja sairastuvat poikia helpommin syömishäiriöihin (Aivelo ym., 2022). Miehet ovat aggressiivisiä ja naiset ovat parempia antamaan hoivaa.

Suomalaiset biologian oppikirjat ovat viimeisen parinkymmenen vuoden aikana muuttuneet huomattavasti aikaisempaa sukupuolettomampaan suuntaan. Esimerkiksi kuvitushahmoista pyritään tekemään sukupuolettomia ja sukupuolen merkityksestä puhutaan vähemmän (Aivelo ym., 2022). Tämä tavallaan ratkaisee *edustukseen* eli representaatioon liittyviä ongelmia ja poistaa piilo-opetussuunnitelman stereotypisoivan sisällön. Samalla se kuitenkin osaltaan vähentää sukupuoleen liittyvää sisältöä ja keskustelua oppimateriaaleista. Sukupuolesta vaikeneminenkaan ei ole järkevä vaihtoehto. Lisäksi, kun kyse on peniksistä ja vulvista, munasoluista ja siittiöistä, sukupuoli tulee aina olemaan etualalla biologian opetuksessa.

Sukupuoli on samaan aikaan sekä identiteetti että biologinen tosiasia. Jokaisella on jonkinlainen kokemus sukupuolesta, joka perustuu biologiaan ja tunteisiin eli myös epäsuorasti biologisiin mekanismeihin. Se, miten ihmiset nimittävät sukupuoltaan tai mihin joukkoon he identifioituvat, on sosiaalinen prosessi. Siinä missä aiemmin sukupuoli-identiteettien määrä oli rajallinen, nykyään sukupuoli-identiteettejä on huomattavasti enemmän, ja esimerkiksi oppijoiden on internetin avulla helppo löytää niitä koskevaa tietoa ja vertaisverkostoja.

Biologian opetuksella on mahdollista tukea aikaisempaa laajemman kuvan muodostumista sukupuolen moninaisuudesta. Yhteiskunnallisessa keskustelussa kuulee usein perusteltavan kahden sukupuolen olemassaoloa sanomalla, että jo koulubiologiassa opitaan, että on kaksi sukupuolta, koiraat ja naaraat. Biologian opetuksen tuottamia väärinkäsityksiä tai lähinnä vääriä tulkintoja biologian oppiaineesta käytetään näin hyväksi yhteiskunnallisessa keskustelussa. Toisaalta suomen kielestä puuttuu esimerkiksi englantilainen *sex/gender* -jako, jolla sukupuoli jaetaan biologiseen ja kulttuuriseen (Berenbaum ym., 2011). Tämä on osittain haaste. Jaon puuttumisen takia on vaikea aina tietää, missä kontekstissa sukupuolesta milloinkin keskustellaan. Toisaalta tästä on myös etua, sillä tämä ei aiheuta nykypäivän sukupuolikäsitykseen huonosti yhteensopivaa kahtiajakoa.

Biologian opetus voi kuitenkin ohittaa suurimman osan sukupuolen moninaisuudesta. Eräs ratkaisu, jota opetuksessa suositaan, on jäsentää ihmisen sukupuoli biologiseen, psykologiseen ja sosiaaliseen sukupuoleen (Aivelo ym., 2022). Tällöin opetuksessa voidaan keskittyä vain lisääntymisestä lähteviin sisältöihin ja jättää muut ulottuvuudet muille oppiaineille. Jaottelun ongelma on

se, ettei se perustu mihinkään järkevään tieteelliseen teoreettiseen viitekehykseen. Esimerkiksi ihmisen aivot ovat biologian tuote, joten olisi epärehellistä nimetä aivoissa tapahtuvat ajatusprosessit ei-biologisiksi. Samoin identifikaation leimaaminen vain sosiaalisiksi prosesseiksi antaa kuvan, että sukupuoli-identiteetit jotenkin syntyvät kehosta riippumattomasti, vaikka tämäkään ei pidä paikkansa (Berenbaum ym., 2011).

Toisaalta biologian opetuksessa tulee käsitellä sukupuolen moninaisuutta, koska se on biologinen tosiasia. Välttelemällä aihetta koskevaa keskustelua toiseutetaan sukupuolivähemmistöt samalla tavoin kuin seksistä puhuttaessa toiseutetaan seksuaalivähemmistöt. Myös sukupuolivähemmistöihin kuuluvat ansaitsevat oppia, miten biologia liittyy heidän sukupuoleensa, mikä tahansa heidän anatomiansa, kokemuksensa tai identifikaationsa onkaan. Koulussa tai luokkahuoneessa kenenkään oppijan tai opettajan ei tarvitse kuvailla tai perustella omaa sukupuoltaan tai seksuaalista suuntautumistaan. Oppimisympäristön kannalta olisi tietenkin parasta, jos yhteisössä olisi näkyvää sukupuolten moninaisuutta, mutta monissa ympäristöissä sukupuolivähemmistöihin kuuluvat yhä kokevat kiusaamista ja väkivaltaa. Turvallisen ja kaikki oppijat huomioon ottavan inklusiivisen oppimisympäristön (Hemingway & Armstrong, 2012) luonti ei ole vähemmistöjen vastuulla, vaan siitä kantaa erityisesti vastuuta opettajat.

Ihmisen biologiassa sukupuoleen liittyvä opetuksellinen haaste tiivistyy selvimmän opetussuunnitelman ja oppimateriaalien väliseen ristiriitaan. Opetussuunnitelmassa korostuu sukupuolen moninaisuuden ymmärtäminen ja arvostaminen, mutta biologian oppikirjoissa yhdellä aukeamalla esitetään miehen ja naisen sukupuolielimet. Ristiriita moninaisen ja kaksijakoisen (binäärisen) sukupuolikäsityksen välillä on ilmeinen ja tilanne vaatii opettajilta taitavaa sanoittamista.

Minkälaisia ratkaisuja sitten sukupuolen opettamiseen biologiassa on? Ensinnäkin sukupuolen moninaisuus pitää lausua julki usein ja toistuvasti opetuksen aikana. Opettajan on hyvä olettaa, että luokkahuoneessa on hänen tietämättään sukupuolivähemmistöjen edustajia, joille hyväksyntä tai kannustaminen voi olla erityisen tärkeää, vaikka opettaja ei saisi tätä koskaan tietää. Toiseksi vain biologiselta perustalta nousevina käsitteinä ”miehen” ja ”naisen” käyttöä sukupuoli-identiteettiä tarkoittavina määreinä on hyvä tarkastella kriittisesti. Androgeenit eivät ole tieteellisessä mielessä mieshormoneja eivätkä estrogeenit naishormoneja, vaan niitä on kaikilla yksilöillä. Penis tai vulva ei ole vain

miesten tai vastaavasti naisten ulkoisia sukuelimiä, vaan penis voi olla niin cis-miehillä kuin trans-naisillakin. Kolmanneksi sukupuolittamisen kanssa tulee olla hienotunteinen ja oppijoiden erilaisia identiteettejä arvostava. Opettaja ei aina tiedä, mitä sukupuolta oppijat kokevat olevansa. Neljänneksi sukupuolivähemmistöt ovat biologisia aivan samassa mielessä kuin ylivaltaan kuuluvat miehet ja naisetkin. Biologian opetuksessa ei pitäisi jättää näitä aiheita muiden oppiaineiden huoleksi.

## **OSA 3. TUTKIMUKSELLISUUS JA KOKEMUKSELLISUUS BIOLOGIAN OPETUSMENETELMISSÄ**

### **Luku 7. Ongelmanratkaisutaitojen kehittäminen biologian opetuksessa**

MERIKE KESLER, SARI HAVU-NUUTINEN, SIRPA KÄRKKÄINEN

Yksilön taito ratkaista ongelmia tarkoittaa ennen kaikkea taitoa tehdä elämässä kannalta tärkeitä päätöksiä (esim. Vincent-Lancrin ym., 2019). Laajemmin ongelmanratkaisutaito voi johtaa merkittäviin yhteiskunnallisiin innovaatioihin ja tulevaisuuden kannalta kestäviin ratkaisuihin. Kuten Vainikainen ja Greiff (2022) toteavat, ongelmanratkaisutaidon kehittyminen edellyttää sekä monipuolista ajattelua että tekemistä, jolloin jo opittuja tietoja ja taitoja hyödynnetään uuden luomiseen. Samalla tarvitaan myös muita laaja-alaisen osaamisen taitoja ja biologian opetuksessa biologian lisäksi tietoja muilta tieteenaloilta. Oppijakeskeiset lähestymistavat ja yhteistyö korostuvat lapsille ja nuorille merkityksellisten ongelmien ratkaisemisessa. Luvussa tarkastellaan ongelmanratkaisuun liittyvää teoreettista viitekehystä ja tuodaan esimerkkejä konkreettisista tavoista, joilla ongelmanratkaisutaitojen kehittymistä voidaan tukea biologian ja kestäväen kehityksen opetuksessa.

#### **7.1 Ongelmanratkaisu laaja-alaisen oppimisen mahdollistajana**

Biologian opetuksen sisältönä ovat biologian tieteenalan ilmiöt, niistä tuotettu uusi tieto ja tutkimuksessa hyödynnettävät menetelmät. Biologian opetuksen moninaisuus ja kompleksisuus ilmenevät luvussa 1, jossa tarkastellaan biologian tieteenalan luonnetta. Luvussa 2 kuvataan puolestaan, miten biologian opetus on kiinteä osa luonnontieteiden opetusta ja miten opetuksessa hyödynnetään lisäksi sellaisia työtapoja ja menetelmiä, jotka ovat käytössä myös fysiikassa, kemiassa ja luonnonmaantieteessä.

Biologian oppiaineen tärkeä tehtävä kestävyystaitojen ja -tietojen kehittämisessä on korostunut jo kirjan aikaisemmissa luvuissa. Uusimmassa UNESCO:n (2020) julkaisemassa kestävä kehityksen opetuksen vuosikymmentavoitteissa painottuvat *transformatiivinen toimijuus* (transformative action), *rakenteelliset muutokset* (structural changes) ja *teknologinen tulevaisuus* (technological future). Kirjauksen mukaan transformatiivisessa toimijuudessa yksilöitä ohjataan toimimaan kestävä tulevaisuuden puolesta. Rakenteellisissa muutoksissa syvennyttään kestävämmyyden syihin. Teknologisessa tulevaisuudessa taas tarkastellaan kriittisesti teknologian mahdollisuuksia ratkaista kestävyysongelmia. Nämä samat periaatteet, kuten systeeminen ajattelu, ekososiaalinen transformaatio ja kestävämmuus heijastuvat hyvin ekososiaalisen sivistyksen käsitteessä (Foster ym., 2022). Edellä mainitut periaatteet on otettu huomioon opetussuunnitelmia laadittaessa, ja ne ohjaavat siten myös biologian opetuksessa ja oppimisessa niin sanotun laaja-alaisen osaamisen kehittämistä (Heinonen ym., 2022).

Laaja-alaisen osaamisen ja biologian opetuksen visioiden 1–3 toteutumista voidaan tarkastella myös ongelmanratkaisun tematiikan kautta. Vainikainen ja Greiff (2022) pohtivat artikkelissaan ongelmanratkaisun määrittelyä monesta näkökulmasta. Määrittelyä voidaan lähestyä esimerkiksi ongelmanratkaisun prosessin, ongelman ratkaisijan tai itse ongelman näkökulmasta. Yksinkertaisimmillaan ongelmanratkaisu voidaan ymmärtää vaiheittain etenevänä prosessina, jossa ongelman ratkaisemiseen tarvitaan monipuolisia ajattelutaitoja. (Vainikainen & Greiff, 2022).

Ongelmanratkaisutaitojen tarve kumpuaa perusopetuksen ja lukion valtakunnallisista opetussuunnitelman perusteista, joissa on kuvattu kaikkeen opetukseen ja oppimiseen liittyvät laaja-alaisen oppimisen taidot. Koska ongelmanratkaisua pidetään tärkeänä laaja-alaisen osaamisen taitona, sen harjoitteluun on kehitetty useita vaiheittain eteneviä malleja. Malleihin ja niiden integroimiseen biologian opetukseen paneudutaan tässä luvussa tarkemmin.

Laaja-alaisen osaamisen ja oppimisen taitojen viitekehysten taustalla on useita, etenkin OECD:n rahoittamia hankkeita, joissa on kehitetty erilaisia avaintaitomalleja. Kompetenssimallissa osaamisalueet luokitellaan kolmeen pääluokkaan: välineiden vuorovaikutteinen käyttö, vuorovaikutus heterogeenisissä ryhmissä ja itsenäinen toiminta (Vainikainen & Nilivaara, 2022). Avaintaito-

jen määrittelyssä mainitaan puolestaan luonnontieteiden, teknologian ja insinööritieteiden taidot sekä digitaalitaidot (Vainikainen & Nilivaara, 2022). Tarkasteltaessa tutkimuksellista oppimista tai projektioppimista, huomataan että näissä vaiheittain etenevissä menetelmissä taitojen oppiminen ja tukeminen on monipuolista. Nämä ovat perustaitoja, joita tarvitaan biologian opetuksen vision 1 saavuttamiseen. Visioiden 2 ja 3 tavoitteet toteutuvat, kun opetuksen lähtökohdaksi otetaan avoin ja luova ongelmanratkaisu. Silloin oppijat voivat hyödyntää monipuolisesti oppimiaan tietoja ja taitoja sekä soveltaa niitä monimutkaisten ongelmien ratkaisemiseen. Visioiden 2 ja 3 mukaisesti ratkaistavat ongelmat koskettavat oppijan kokemusmaailmaa, jokapäiväistä elämää tai laajempia biologisia ongelmia. Tällöin ongelmanratkaisun lisäksi harjoitellaan vaikuttamisen taitoja ja arjen taitoja. Ongelmat voivat olla myös tätä laajempia globaaleja ja yhteiskunnallisia, jolloin biologian opetus on vain osa ongelmanratkaisua. Oleellista on ottaa huomioon suunnittelussa, toteutuksessa ja arvioinnissa erityisesti se, että oppimisen tulisi olla kaikille oppijoille motivoivaa sekä yhdenvertaisesti tiedepääomaa kartuttavaa (Archer ym., 2015).

Ongelmanratkaisuprosessin ja sen vaiheiden ymmärtäminen, luovuuden hyödyntäminen ja oppijan taitojen tunnistaminen sekä itseohjautuvuuden tukeminen helpottavat vaativan tutkimuksellisuuden prosessin ohjaamista. Vaikka opettajalla olisi hyvätkin ohjaustaidot, hänen mielikuvansa ja uskomuksensa saattavat vaikuttaa enemmän siihen, mitä hän oppijoilta odottaa kuin se, millaiset oppijan taidot todellisuudessa ovat (Kesler, 2020). Jäljempänä tässä luvussa tarkastellaankin tarkemmin prosessin ohjaamista, ja millaista tukea ongelmanratkaisuprosessin aikana ongelmanratkaisijalle voidaan tarjota.

## 7.2 Ongelmanratkaisu tiedepääoman kehittäjänä

Ongelmanratkaisutaitoja tarvitaan ja ne myös kehittyvät, kun esitetään selityksiä havaituille ilmiöille. Kouluopetuksen tärkeä tavoite onkin tarjota oppijoille työkaluja tehdä tieteelliseen tietoon perustuvia ratkaisuja ja valintoja omassa elämässään. Archer ja muut (2015) ovat ottaneet käyttöön käsitteen *tiedepääoma* (science capital) kuvaamaan sitä luonnontieteen opetuksen moninaisuutta, johon kouluopetuksessa tulisi kiinnittää huomioita oppijoiden kiinnostuksen, asenteiden ja osaamisen vahvistamiseksi. Oppijoiden tiedepääomaa vahvistavassa opetuksessa tarkastellaan biologisten systeemien ilmiöitä laaja-alaisesti ottaen huomioon sisällöllisten kysymysten ohella kulttuuriin,

sosiaalisiin suhteisiin kuin myös taloudellisiin tekijöihin liittyvät seikat. Näin ollen tiedepääomaa tukeva opetus korostaa oppijoiden tasavertaisuutta suhteessa tiedekasvatuksen tavoitteisiin. Tällöin opetuksella pyritään ottamaan huomioon oppijoiden kulttuuriset ja sosiaaliset elämäntilanteet siten, että opetus on kaikille tasapuolista motivaation, itseluottamuksen ja työelämään orientoitumisen kannalta. Tiedepääomaa tukeva opetus ohjaa oppijoita tiedonlähteille, joista oppijat saavat totuudenmukaista tutkittua tietoa ja erityisesti omaa käyttäytymistä ohjaavaa ja tukevaa osaamista sekä oppivat kriittistä lukutaitoa. Lisäksi voidaan keskustella oppijoita kiinnostavista ammateista, joissa hyödynnetään biologista tietoa arjen tilanteissa tai joissa on tavoitteena biologian tieteenalan edistäminen (Archer ym., 2015). Kouluopetuksessa on tärkeää tarjota oppijoille mahdollisuuksia keskustella asiantuntijoiden kanssa ja saada siten kokemuksia tietojen ja taitojen soveltamisesta eri ammateissa. Biologian oppiaineessa tällaisia ilmiöitä on helppo yhdistää muun muassa tutkimus-, ympäristö- ja terveysalojen ammattien yhteyteen.

Ongelmanratkaisua ja tiedepääomaa edistävän pedagogisen materiaalin kehittämisessä opettajan tulisi kiinnittää huomioita a) oppijoiden aikaisempiin kokemuksiin ja omaan ymmärrykseen opiskeltavasta aiheesta, b) oppijan omiin arvoihin ja arvostukseen sekä c) tiedepääoman eri ulottuvuuksien kuten luonnontieteellisen osaamisen edistämiseen, median käyttöön, sosiaalisiin suhteisiin ja tiedon siirrettävyyteen. Tiedepääomaa edistävässä Fostering Finnish Science Capital (FINSCI) -hankkeessa toteutettiin erilaisia tutkimusta edistäviä opetuskokeiluja, joissa oppijoilla oli mahdollisuus opiskella tieteelliseen tietoon perustuvaa tietoa monipuolisesti ongelmanratkaisua hyödyntäen. Eräässä hankkeen opetuskokeilussa vesiaiheen opiskelu aloitettiin pohtimalla yhteisesti veden virkistyskäyttöä, jonka jälkeen tutkittiin puhdasta ja likaista vettä eri ympäristöissä. Ongelmanratkaisua tarvittiin, kun selvitettiin konkreettisesti, miten vettä voidaan puhdistaa tai säästää. Työskentelyn aikana oppijat tutustuivat lisäksi vedenpuhdistamoon virtuaalilasiin avulla ja esittivät etäyhteyksillä kysymyksiä asiantuntijoille veden puhdistamisesta ja sen käytöstä. Myös kotona vanhempien kanssa oppijat keskustelivat vedenkulutuksesta, kuten vedenkulutuksen määrästä ja jakautumisesta. Oppijoiden käsitykset biologian ilmiöistä ja käsitteistä ja samalla myös heidän tiedepääomansa vahvistuivat, kun he oppivat puhtaan veden merkityksen eliöille ja sen, miten puhdasta vettä saadaan.



Opetuskokeilu vahvisti oppijoiden tulevaisuusorientaatiota luonnontieteen opiskeluun. Oppijat huomasivat luonnontieteen opiskelun tärkeyden, mutta innostus luonnontieteen opiskeluun ei vahvistunut. Oppijoiden kiinnostusta työskentelyyn lisäsi ongelmakeskeisyys sekä erilaisten tutkimusvälineiden käyttö kuten tiedonhankinta mikroskoopeilla ja virtuaalitodellisuuslaseilla. Myös tekniikan merkityksen ymmärtäminen luonnontieteen oppimisessa vahvistui (Havu-Nuutinen ym., 2023).

Ongelmanratkaisu ja tiedepääoma linkittyvät biologian sellaisiin opetus sisältöihin, joita tarvitaan esimerkiksi kestävyysmurroksen saavuttamiseen (vrt. luonnontiedekasvatuksen visiot 2 ja 3). Tämän luvun alussa mainitut laaja-alaiset taidot eivät sellaisenaan mukaile kestävyyskasvatukselle asetettuja tavoitteita. Silti kyseisillä taidoilla on avainasema muun muassa sellaisen tiedepääoman kehittämisessä, jonka avulla kestävyysmurroksen tarve voidaan ymmärtää ja perustella sekä toimia kestävyuden edistämiseksi. Tarvitaan siis sekä biologian tieteenalan tietoja ja taitoja sekä laaja-alaisia ongelmanratkaisutaitoja.

### 7.3 Tutkimuksellisuus ja ongelmanratkaisu biologian opetuksessa

Ongelmanratkaisuprosessin alkupisteenä on aina jokin ongelma tai kysymys, josta ratkaisuprosessi saa alkunsa. Näin myös tutkimuksellinen lähestymistapa voidaan rinnastaa ongelmanratkaisuprosessiin kuten tämän kirjan luvuissa 1 ja 2 ilmenee. *Tutkimuksellisella työskentelyllä* on ollut tärkeä merkitys luonnontieteen opettamisessa ja opiskelussa jo monen vuosikymmenen ajan, silti yhtenäistä määritelmää tälle käsitteelle ei ole (Asay & Orgill, 2010; Harlen, 2013). Riippumatta siitä, miten käsite määritellään, tutkimukselliselle työskentelylle on ominaista oppijakeskeisten toimintojen edistäminen, kuten kokeellinen ongelmanratkaisu sekä arkipäivän ilmiöihin liittyvien kysymysten asettelu ja niiden tutkiminen. Tutkimuksellinen työskentely viittaa myös tieteellisessä tutkimustyössä käytettäviin taitoihin ja menetelmiin, joita kouluopetuksessa oppijoiden kanssa mallinnetaan. Opetuksen suunnittelussa on keskeistä ottaa huomioon, että tutkimuksellinen prosessi johtaa ongelmanratkaisutaitojen kehittämiseen vain, jos käsitteet ja menetelmät on valittu täsmällisesti. Ennen kaikkea tämä tarkoittaa, että opettajalla tulee olla selvä käsitys siitä, mitä tietoja ja taitoja oppijat osaavat jo entuudestaan.

Kirjan luvussa 2 tarkastellaan niin ikään tutkimuksellista lähestymistapaa ja sen avoimuuden tasoja biologian opetuksessa. Avoimuus määritellään muun muassa opettajan tarjoaman ohjauksen ja oppijan ottaman vastuun avulla tutkimuksen eri vaiheessa. Tällaista mallia voidaan sanoa myös akateemiseksi ongelmanratkaisumalliksi, ja sen tärkeimpänä päämääränä on opetussuunnitelman perusteissa määriteltyjen tavoitteiden saavuttamisen tukeminen (Zhao, 2012). Biologian opetuksessa voi olla kuitenkin tavoitteena harjoitella myös sellaisten ongelmien ratkaisemista, joissa akateemisia tietoja ja taitoja sovelletaan. Toisinaan ongelmanratkaisu voi olla tuotekehitystä, jossa tarvitaan ympäristön lukutaitoa ja sitä kautta biologian tieteenalan tietoja (Zhao, 2012). Yanto ja muut (2019) luokittelevat tutkimuksensa yhteydessä tutkimuksellisuuden avoimuuden perusteella kolmeen tasoon: suljetuksi, ohjatuksi ja avoimeksi tutkimukseksi. He tulevat tutkimustulostensa perusteella johtopäätökseen, että opettajan on syytä käyttää vaihtelevasti tutkimuksellisuuden eri tasoja (Yanto ym., 2019). Oppijat, joilla ei ole paljon kokemusta tutkimusten teosta, voivat oppia parhaiten strukturoituja ja suljettuja tutkimuksia tehdessään, kun taas tutkimustaidoissansa pidemmälle edenneet oppijat voivat kehittyä avointen ja vaativien tutkimusten parissa.

Tutkimuksellista opettamista ja oppimista voidaan kuvata vaiheittain etenevällä mallilla. Malli tukee sekä opetuksen suunnittelua että oppijälähtöistä ongelman ratkaisua. Vaiheistus tekee prosessista läpinäkyvän, jolloin prosessin tavoitteiden ymmärtäminen ja prosessiin sitoutuminen helpottuu (Kesler, 2020). Ongelmanratkaisuprosessin osioiden tunnistamista on pidetty keskeisenä, jotta voidaan kehittää erilaisia vaiheittain eteneviä opetusmenetelmiä (Taulukko 7.1).

*Taulukko 7.1. Vaiheittain etenevien opetusmenetelmien kuvauksia (muokattu lähteestä Kesler, 2020).*

<i>Opetusmenetelmä ja esimerkki tutkimuksesta</i>	<i>Vaiheiden määrä *</i>	<i>Mihin käytetään</i>
<i>Luova ongelmanratkaisu (creative problem solving, Treffinger ym., 2006)</i>	3–7 vaihetta, syklinen, yksin tai ryhmätyönä	Prosessin eri vaiheiden tai kokonaisuuden harjoitteluun, jatkuvan aktiivisen itse- ja vertaisarvioinnin harjoitteluun
<i>Projektioppiminen (project-based learning, Krajicik &amp; Shin, 2015)</i>	4 vaihetta, lineaarinen, ryhmätyönä	Jokapäiväiseen elämään liittyvien ongelmien tai haasteiden ratkaisemiseen, projektin tavoitteet usein annettuna valmiina
<i>Palvelumuotoiluprosessi (service-design process, Kenttälä, 2017)</i>	7 vaihetta, syklinen, ryhmätyönä	Jokapäiväiseen elämään liittyvien ongelmien tai haasteiden ratkaisemiseen, tulosten tavoitteena parempi elämä/ elämänlaatu, ideoiden testaamisen harjoitteluun
<i>Designsuuntautunut pedagogiikka (design-oriented pedagogy, Vartiainen ym., 2012)</i>	4 vaihetta, ympyrä, ryhmätyönä	Tieto- ja viestintäteknologian (TVT) hyödyntämisen harjoitteluun ongelmanratkaisussa, vertaisoppimiseen
<i>Keksintöprosessi/keksimisen pedagogiikka (discovery learning, Seitamaa-Hakkarainen ym., 2010)</i>	5 vaihetta, syklinen tai lineaarinen, yksin tai ryhmätyönä	Innovoimisen harjoitteluun
<i>Tutkimuksellinen/tutkiva oppiminen luonnontieteissä (inquire-based learning, Bybee, 1997)</i>	3–6 vaihetta, syklinen, yksin tai ryhmätyönä	Tutkimustaitojen harjoitteluun luonnontieteellisessä kontekstissa
<i>Ongelmalähtöinen oppiminen (problem-based learning, Dochy ym., 2003)</i>	5–7 vaihetta, lineaarinen, ryhmätyönä	Oppijalle tärkeiden jokapäiväisten ongelmien ratkaisemiseen, yhteistyötaitojen harjoitteluun, tiedon etsimistaitojen harjoitteluun
<i>Tiedonrakentamisen pedagogiikka (knowledge building, Stahl, 2000)</i>	8 vaihetta, ympyrä, ryhmätyönä	Yksilön oppimisprosessin yhdistymiseen ryhmän oppimisprosessiin, ymmärtämiseen, oppimisteorioiden yhdistämiseen

*\*Prosessien vaiheiden lukumäärä on arvioitu käytettyjen lähteiden perusteella. Syklinen tarkoittaa tässä yhteydessä prosessin etenemistä lineaarisesti siten, että se sisältää tarvittaessa paluun vaiheesta toiseen, ympyrä tarkoittaa viimeisen vaiheen kytkeytymistä ensimmäiseen vaiheeseen.*

Kaikki kuvatut menetelmät (Taulukko 7.1) eivät sovi jokaiselle ikäluokalle eivätkä kaikkiin oppiaineisiin. Ongelmalähtöinen oppiminen tai keksimisen pedagogiikka edellyttävät usein eri oppiaineissa opetettavia tietoja ja taitoja, ja monitieteistä ajattelua. Jotkut kuvatuista menetelmistä tukevat taas paremmin erilaisten taitojen harjoittelua ja oppimisympäristöjen hyödyntämistä. Jotkin vaihe vaiheelta etenevät menetelmät ovat joustavampia toteutuksen suhteen kuin toiset. Joustavuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että joidenkin menetelmien kohdalla kaikkien vaiheiden toteuttaminen tai vaiheiden järjestys ei ole yhtä tärkeää kuin toisten kohdalla. Edellisistä esimerkkejä ovat luova ongelmanratkaisu ja tutkimuksellinen oppiminen ja jälkimmäisistä projektioppiminen tai designsuuntautunut pedagogiikka. Ongelmalähtöisessä oppimisessä voidaan keskittyä ongelmien löytämiseen ja kysymyksen asetteluun, mutta näitä ongelmia ei ole välttämätöntä ratkaista. Tutkimuksellisessa oppimisessä voi jäädä pois aineiston keräämisen vaihe, ja oppijoille annetaan valmis aineisto. Toiset prosessit ovat oppijakeskeisempiä, kun taas toisissa vaaditaan opettajan tiivistä ohjausta tai asiantuntijaroolia. Lisäksi monen vaiheittain etenevän menetelmän taustalla on asiantuntijoiden kehittämää ongelmanratkaisumalleja, jotka eivät sovi sellaisenaan kouluopetukseen.

Mikään malli ei kuitenkaan ohjaa opetusta ja oppimista, vaan opetuksen etenemistä säätelee aina opettaja. Hänen tulee tiedostaa, mitä eri vaiheita ongelmanratkaisuprosessissa on, ja mitä tukea oppijat tarvitsevat kussakin vaiheessa (Kesler, 2020). Oppijakeskeisyyttä tukemalla opettaja ohjaa oppijoita ottamaan vastuuta. Opettajan tulee tunnistaa, mitä ratkaisutaitoja oppijat tulevat tarvitsemaan ongelman ratkaisemisen aikana, jotta hän pystyy ohjaamaan oppijoita (Kesler, 2020). Oppijan sitoutumista ongelmanratkaisun prosessiin helpottaa, kun työskentelyaika ja tilankäyttö on mitoitettu oikein (Piirto, 2010). Niin ikään valitut työtavat ja menetelmät vaikuttavat prosessin etenemiseen. Hyvin organisoidussa prosessissa motivointiin käytetään aikaa, oppijat pääsevät käyttämään aikaisempaa osaamistaan, itsearviointi on aktiivista sekä oppijan itsetuntoa ja pystyvyysuskomusta vahvistetaan (Chen ym., 2015; Warnock & Duncan, 2019). Opettajan tulee sisäistää, mitä kukin ongelmanratkaisun vaihe mallissa tarkoittaa ja mikä on sen tavoite, jotta ongelmanratkaisun malli tukisi parhaalla mahdollisella tavalla oppijan omasta oppimisesta ja ongelmanratkaisutaidoista tietoisiksi tulemista eli metakognitiota. Hiltunen (2022) tutki aineenopettaja- ja luokanopettajaopiskelijoiden puhetta biologian sekä ympäristöopin oppitunneilla. Tutkimuksellisen oppimisen tunnit jaettiin Pedasten ym. (2015) esittämän mallin mukaan johdanto-,

tutkimus- ja koontivaiheeseen (ks. myös Luku 2). Suurin osa opettajaopiskelijoiden puheesta oli auktoritatiivista puhetta kaikissa oppitunnin vaiheissa. Opettajaopiskelijoiden dialoginen puhe, jota oli erityisesti johdanto- ja tutkimusvaiheessa, oli pinnallista, ja opettajaopiskelijat vaativat harvoin peruste-luja tai vastaväitteitä oppijoilta. Opettajaopiskelijoiden kysymykset liittyivät faktatietoon tai keskeisten käsitteiden määrittelyyn kaikissa tutkimuksellisen oppimisen vaiheissa. Opettajaopiskelijoiden tekemät kysymykset eivät edellyt-täneet oppijalta analyysia, synteisiä tai arviointia (Hiltunen, 2022). Kuvatun esimerkin perusteella voidaan kysyä, ovatko opettajaksi opiskelevat lähtö-kohtaisesti ymmärtäneet, miksi tutkimuksellinen menetelmä oli valittu keskeiseksi opetusmenetelmäksi oppitunnille. Kokeellisuuden lisäksi dialogista opetusta voidaankin pitää yhtenä keskeisenä menetelmänä, joka liittyy tiiviisti tutkimuksellisuuteen (esim. Juuti, 2016). Dialogin avulla oppijoita ohjataan syntetisoimaan, arvioimaan ja analysoimaan. Tutkimuksellisen oppimisen avulla voidaan siis kehittää oppijoiden ajattelu- ja päättelytaitoja – taitoja, joita tarvitaan ongelmanratkaisussa (Vainikainen & Greiff, 2022). Taitojen kehittymiseen ohjaa niin ikään perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet (Opetushallitus, 2014), jossa yhtenä laaja-alaisen osaamisen taitoalueena on kuvattu Ajattelu ja oppimaan oppiminen (L1). Näin ollen biologian opetuksen tehtävänä on tukea ja kehittää oppijoissa näitä taitoja sekä opetussisältöjen että -menetelmien avulla.

## 7.4 Luova ongelmanratkaisu biologian opetuksessa

Ongelmanratkaisua, luovaa ongelmanratkaisua, uuden luomista ja ajattelu-taitoja pidetään toisinaan rinnakkaisina samaa tarkoittavina käsitteinä (esim. OECD, 2018). Vaikka nämä käsitteet linkittyvätkin tiivisti yhteen, ne kuitenkin myös eroavat toisistaan. Ongelmanratkaisun prosessia ei aina voida rin-nastaa uutta luovaan prosessiin, koska ongelmia voidaan ratkaista myös ru-tiininomaisesti tiettyjen mallien mukaan, mutta uuden luomiseen tarvitaan lisäksi henkilön luovuutta. Tutkimusten perusteella etenkin luonnontieteitä opettaville opettajille näyttää olevan haastavaa huomata, miten luovuus liittyy ongelmanratkaisuun omassa opetuksessa (Johansen ym., 2022). Perus-opetuksen opetussuunnitelman perusteissa biologian oppimiselle asetetuissa tavoitteissa luovuuteen, ongelmanratkaisuun ja innovatiivisuuteen liittyvät käsitteet puuttuvat lähes kokonaan (Kankaanranta ym., 2022). Kuitenkin luovuuden edistämistä luonnontieteissä pidettiin yhtenä tärkeimmistä tavoit-

teista jo 2000-luvun alussa, kun joukko tutkijoita pohti maailmanlaajuisesti luonnontieteiden opetuksen tavoitealueita (Osborne ym., 2003). Tavoitteena oli, että oppijat ymmärtäisivät luovuuden, inspiraation ja mielikuvituksen merkityksen tieteellisessä tutkimuksessa. Ongelmana on, että luovuutta pidetään enemmänkin yksilön ominaisuutena kuin prosessina (Vincent-Lancrin ym., 2019), mutta nimenomaan luovuuden prosessin ymmärtäminen auttaisi opettajaa ymmärtämään sen hyötyjä luonnontieteiden opetuksessa.

Ongelmanratkaisuprosesseissa voidaan kaikissa havaita yhteisiä piirteitä ja etenemiskulkuja, vaikka jokainen prosessi onkin yksilöllinen. Psykologi Graham Wallas tutki 1900-luvun alussa luovuutta ja erityisesti sitä, miten luoviksi luonnehditut henkilöt ratkaisevat ongelmia. Tutkimuksensa tuloksena Wallas määritteli luovan prosessin vaiheiksi *valmistelun* (preparation), *kypsymisen* (incubation), *oivalluksen* (illumination) ja *todentamisen* (verification) (Wallas, 1926). Kun tarkastellaan myöhemmin kehitettyjä ongelmanratkaisumalleja, kuten tutkimuksellista opetusta, Wallasin esittämät vaiheet sisältyvät näihin uusiin ongelmanratkaisumalleihin. Luova prosessi etenee siis pääpiirteittäin Wallasin esittämien vaiheiden kautta ja kaikkia vaiheita tarvitaan luovassa prosessissa. Pystyäkseen tehokkaaseen luovaan ongelmanratkaisuun, oppijan tulisi osallistua prosessin kaikkiin vaiheisiin. Opettaja voi esimerkiksi ajatella nopeuttavansa oppijan uutta luovaa prosessia tekemällä valmisteluvaiheen itse tarjoamalla valmiin tutkimuskysymyksen tai koeasetelman. Prosessi ei kuitenkaan nopeudu vaan hidastuu, koska oppija ei voi aloittaa ongelmanratkaisua kesken prosessin, ja hän joutuu tekemään ylimääräistä työtä ymmärtääkseen, mistä vaikkapa tutkimuskysymyksessä on kyse (Kesler, 2020).

*Pienet luovat tutkijat* (Creative little scientists) -hankkeessa selvitettiin luovuuden ja ongelmanratkaisuprosessin synergioita ja osoitettiin näiden prosessien yhteneväisyyksiä (Stylianidou ym., 2018). Keskeisiä tekijöitä, jotka edistävät sekä luovuutta, että ongelmanratkaisua oppimisprosessissa ovat muun muassa leikki ja tutkiminen, yhteistoiminnallisuus, kysymysten tekeminen ja uteliaisuus, motivaatio ja emotionaaliset oppimiskokemukset, osallisuus ja osallistuminen sekä formatiivinen arviointi (Stylianidou ym., 2018). Selvitettäessä talven ja lumen merkitystä eläinten käyttäytymiselle, voidaan oppijoiden ongelmanratkaisuprosessia tukea esimerkiksi tarinoiden ja satujen avulla, jolloin oppijat pääsevät pohtimaan ja ratkaisemaan ongelmia lumen merkityksestä suojautumiseksi, pesimiseksi ja ravinnolle. Luova ongelmanratkaisuprosessi auttaa löytämään erilaisia vaihtoehtoja ratkaisuille, ja silloin oppijat tuottavat

mielikuvituksensa avulla luovia ideoita ongelman ratkaisuun. Myös yhteiset retket talviseen luontoon sekä muihin ympäristöihin ja siellä tehdyt omakohdattaiset havainnot ja lumen mittaukset tukevat luovaa ongelmanratkaisuprosessia. Oppijan omakohtaiset havainnot vahvistavat osallisuutta ja emotionaalisesti merkityksellisiä kokemuksia. Nämä opetukselliset lähestymistavat ovat monelle biologian opettajalle tuttuja, mutta niiden tietoinen käyttäminen ongelmanratkaisun ja luovuuden tukena vaihtelee suuresti (Havu-Nuutinen ym., 2017). Lisäksi luovan ongelmanratkaisun yhteisvaikutusten nykyistä vahvempi huomioonottaminen opetusta ohjaavissa asiakirjoissa ja opettajien täydennyskoulutuksessa on tärkeää (Stylianidou ym., 2018).

Luovuutta onkin yritetty integroida entistä tiiviimmin perinteiseen ongelmanratkaisuprosessiin kehittämällä luovan ongelmanratkaisun menetelmää. Luova ongelmanratkaisu voidaan määrittää seuraavasti: luova ongelmanratkaisu on avoin prosessi, jossa ongelman käsittelyyn ja ratkaisemiseen käytetään apuna luovaan prosessiin perustuvia avoimia ja joustavia työtapoja (Isaksen ym., 2011; Treffinger ym., 2006). Luovien työtapojen lisäksi perinteistä ja luovaa ongelmanratkaisua voidaan vertailla myös muiden piirteiden avulla, kuten Kuviossa 7.1 on esitetty (vrt. Luku 2).



*Kuvio 7.1. Perinteisen ja luovan ongelmanratkaisun ominaispiirteitä (Kuvio: Merike Kesler).*

Kouluopetuksessa hyödynnetään enimmäkseen perinteistä ongelmanratkaisua. Tähän on myös hyviä perusteluita. Mitä paremmin tehtävä on jäsenelty, sitä nopeammin oppijat pääsevät hahmottamaan, mitä heiltä vaaditaan (Yanto ym., 2019). Niin sanotut suljetut tehtävät, joissa muuttujat ovat tarkoin määritettyjä, auttavat harjoittelemaan arjessa kohdattavien ongelmien ratkaisemista. Tällaisia suljettuja tehtäviä ovat muun muassa erilaiset laskutehtävät, kuten ekosysteemi- tai yksilötasolla energian siirtymiseen, saantiin tai kulutukseen liittyvät tehtävät, lajien välisiin suhteisiin tai sukulaisuuden tai eri piirteiden geneettiseen periytymiseen liittyvät tehtävät. Biologian opetuksessa aineistopohjaiset päättelytehtävät ovatkin tunnusomaisia. Päättely voi liittyä ilmiöpohjaisiin tehtäviin, joissa ongelma tulee ratkaista annetun aineiston avulla. Opetuksen lineaarisuus tarkoittaa taas sitä, että opetusta viedään johdonmukaisesti ja suoraviivaisesti eteenpäin ja myös oppija siirtyy prosessissa seuraavaan vaiheeseen, vaikka hänelle jäisikin ymmärtämisessä puutteita prosessin edellisessä vaiheessa. Perinteisessä ongelmanratkaisussa oppijalle tarjotaan tavalla tai toisella kaikki ongelman ratkaisemiseen tarvittava tieto, ja oppijan ei tarvitse pohtia erikseen, mitä tietoa hän tarvitsee ongelman ratkaisemiseen. Arvioinnin kannalta on tärkeää, että oppijan tuottamaa ratkaisua voidaan verrata mallivastaukseen. Tällöin opettaja ja oppija tietävät, miten ongelman ratkaiseminen on onnistunut.

Esitettyjä luovan ongelmanratkaisun piirteitä (Kuvio 7.1) voidaan pitää perinteisen ongelmanratkaisun vastakohtina. Kun perinteinen ongelmanratkaisu antaa opettajaa säästämään opetukseen kuluvaan aikaan, niin luovaan ongelmanratkaisuun on varattava aikaa enemmän. Jos luovaa ongelmanratkaisua halutaan harjoitella käyttämällä aikaa kohtuullisesti, silloin tehtävän avoimuuden astetta voidaan pienentää tai haettavan tiedon määrää rajata. Suurin haaste lienee ratkaisujen arviointi, sillä ratkaisua ei voi verrata mihinkään malliratkaisuun. Koska luovan ongelmanratkaisun etenemistä ei voida suunnitella täysin valmiiksi, prosessiin liittyy paljon epävarmuutta ja tapahtuu virheitä. Lisäksi luova ongelmanratkaisu vaatii harjoittelua, joten ongelmanratkaisun tulee olla säännöllistä ja pitkäjänteistä. Hyvin avoin, pitkään kestävä prosessi voi olla myös uuvuttava ja toisinaan jopa turhauttava, ja siksi on tärkeää, että saadaan onnistumisen kokemuksia. Biologian opetuksessa tyypillisesti luovaa ongelmanratkaisun prosessia mukailevia tehtäviä ovat esimerkiksi tutkielmien laatimiset. Tutkielman aiheen oppija saa usein päättää itse, vaikka tutkielma esiteltäisiin ja raportoitaisiin tietyn määrätyn mallin mukaan. Silloin oppija määrittelee ongelman, laatii tutkimuskysymykset, pohtii tutkimuksen



etenemistä, hakee taustatietoa ja aineistoa, laatii yhteenvedon ja pohdinnan – ainutkertaisen ratkaisun.

Isaksen ja muut (2011) ovat soveltaneet luovan prosessin vaiheita luovan ongelmanratkaisun vaiheiden määrittelyyn seuraavasti:

- lähestymistavan suunnittelu
- haasteen ymmärtäminen
- ideoiden tuottaminen
- valmistautuminen toimintaan.

Nämä vaiheet ohjaavat ongelmanratkaisijaa muun muassa arvioimaan ja rajaamaan ongelmaa, tutkimaan taustatietoa,ideoimaan erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja, kehittämään parhaita ideoita eteenpäin ja julkaisemaan uutta tietoa asiasta. Vaiheet ilmenevät luontevasti tutkielmissa ja tutkimuksellisissa projekteissa, ja ne tukevat myös opettajan omaa prosessin ohjauksen suunnittelua.

Aina ei ole kuitenkaan tarpeen käyttää luovan ongelmanratkaisun menetelmää, jos halutaan tukea luovuuden kehittymistä luonnontieteissä. Sen sijaan voi pohtia, miten omia jo olemassa olevia opetustapoja voisi monipuolistaa luovuutta tukevilla työtavoilla. Tällaisia luovia työtapoja kuvasi laajemmin suomeksi ensimmäisen kerran Heikkilä (1981) kirjassaan 'Luovan ongelmanratkaisun didaktiikka'. Monet näistä ajattelua tukevista työtavoista, kuten miellekartta, käsitekartta, ideariihi ja assosiointi ovat levinneet muihinkin opetus- ja oppimateriaaleihin (ks. myös Korhonen & Kangas, 2020; Kesler, 2015).

Keslerin (2020) mukaan erilaisia luovia työtapoja voi sisällyttää tutkimukselliseen prosessiin (Kuvio 7.2). Luovat työtavat tukevat toisaalta ongelmanratkaisua oppijakeskeisesti ja toisaalta oppijan ajattelutaitoja monipuolisesti.

TUTKIMUKSELLINEN PROSESSI:	LUOVAN ONGELMANRATKAISUN TYÖTAPOJA:
1. Lähtökohtana ilmiö tai tieteellinen ongelma	→ Tutkivan ilmapiirin luominen ja ajattelun herättäminen (aistitehtäviä, esineille uusien käyttötarkoitusten keksiminen, zoomaus pienestä isoksi ja isosta pieneksi, kuva-assosiaatiot, ym.)
2. Tutkimuskysymyksen muotoileminen ja teoriaan tutustuminen	→ Kysymyksen muotoileminen ja rajaaminen (ekskursio-työtapa, matriisit, 8x8-työtapa, 3+1 työtapa ym.)
3. Kokeellisen tutkimuksen suunnittelu ja toteuttaminen	→ Kokonaisuuden hahmottaminen ja työn suunnittelu SWOT, mielle- tai käsitekartta, ideariih, aikataulun laatiminen ym.)
4. Tulosten peilaaminen tutkimuskysymykseen	→ Työskentelyn arviointi, itsearviointityötavat, ryhmäarviointityötavat, ym.)
5. Tuloksiin perustuvien johtopäätösten tekeminen	→ Tulosten näkyväksi tekeminen (pienoismallien rakentaminen, tulosten testaus gallupeilla, posterin ja esitelmän valmisteleminen, tuloksista päivän uutisen luominen ym.)
6. Tulosten esittäminen, pohdinta ja perusteleva soveltaminen	→ Osallistuminen itse- ja vertaisarviointiin (väittely, portfolion kokoaminen, galleriakävely, palaute ym.)

*Kuvio 7.2. Luovien työtapojen hyödyntämien tutkimuksellisen ongelmanratkaisuprosessin tukena (muokattu lähteestä Kesler, 2020).*

Tutkimuksellisen prosessin (Kuvio 7.2) mukainen toiminta voisi ilmetä esimerkinomaisesti jollakin biologian opintojaksolla seuraavasti:

1. Opintojaksolla on tavoitteena projektiluonteisesti selvittää läheisen voimakkaasti virtaavan puron pohjaeliöiden lajeja ja ravintoverkkoja, joihin kyseessä olevat eliölajit kuuluvat. Projektin eri vaiheissa oppijoiden etenemistä tuetaan luovilla ja toiminnallisilla työtavoilla sekä formatiivisella arvioinnilla.
2. Tutkimus tehdään sattumanvaraisissa ryhmissä, joten ryhmäytymiseen varataan aikaa. Ensin voidaan tehdä ryhmän yhteishenkeä kohottavia tehtäviä, joilla on myös projektiin virittävä luonne. Ensimmäisessä tehtävässä jokainen ryhmä saa pussin, jossa on neljästä viiteen tavantomaista esinettä kuten kynä tai pala liitua. Jokainen ryhmän jäsen ottaa pussista yhden esineen ja kuvailee sen käyttötarkoituksen. Käyttötarkoituksen tulee olla kuitenkin jotain muuta kuin esineen oikea käyttötarkoitus. Tällainen keksimistehtävä herkistää oppijat tarjoamaan

luovia ratkaisuja myös tutkimuskysymysten määrittelyssä. Toisessa tehtävässä opettaja on valmistellut kuvia, joissa näkyy selkärangattomien eliöiden yksityiskohtia vaan ei koko eliö. Oppijoiden on keksittävä tai piirrettävä eliö kokonaisuena kuvassa olevan yksityiskohdan perusteella. Tällainen tehtävä auttaa oppijoita myöhemmin tekemään havaintoja lajeista entistä tarkkaavaisemmin ja nimeämään eliölajeja.

3. Seuraavassa vaiheessa opettaja esittelee projektiin liittyviä reunaehtoja: missä tutkimus toteutetaan, mitä välineitä on käytössä ja missä ajassa tutkimus tulee tehdä sekä arviointiin liittyvät asiat. Annetun tiedon perusteella oppijat alkavat pohtia ryhmissä, mikä olisi heidän ryhmänsä tutkimuskysymys. Kysymyksen muotoilussa voidaan hyödyntää ekskursiomenetelmää. Ekskursiomenetelmässä on tarkoitus tuottaa toisiinsa yhteydessä olevia sanoja ja näiden sanojen innoittamana keksiä kysymyksiä. Menetelmä on nopeampi ja kevyempi toteuttaa kuin perinteinen ideariihi. Ryhmät keksivät muutamia mahdollisia kysymyksiä, jotka esitellään koko luokalle. Yhteinen esittely on tärkeää, jotta voidaan toteuttaa vertaisarviointia, karsia päällekkäisiä ideoita sekä pohtia kysymysten rajausta ja täsmentämistä.
4. Ryhmät voivat aloittaa suunnitteluvaiheen siten, että ryhmän jäsenet kokoavat henkilökohtaisia vahvuuksia, jotka auttavat myöhemmin työnjaossa. Tässä voidaan hyödyntää nelikenttäanalyysiä, niin kutsutua SWOT-menetelmää. Menetelmän nimi tulee englanninkielisten sanojen *vahvuudet* (Strengths), *heikkoudet* (Weaknesses), *mahdollisuudet* (Opportunities) ja *uhat* (Threats) etukirjaimista. Suunnitteluvaiheessa on niin ikään tärkeää pohtia aikataulun edistymistä ja olemassa olevien resurssien riittävyyttä sekä muita tehtävään liittyviä asioita. Tässä voi hyödyntää miellekarttatekniikkaa, piirtämistä, ideariihä ja muita luovia työtapoja.
5. Vaikka ryhmät työskentelisivätkin projektin aikana hyvin itsenäisesti, kannattaa järjestää säännöllisin väliajoin pienimuotoisia väliraportointeja ja antaa ryhmille mahdollisuus raporttien arviointiin mahdollisuus vertaisarviointiin. Aktiivinen osallistaminen auttaa ryhmiä paremmin huomaamaan, mitä tulisi vielä tehdä paremmin projektin edetessä. Näin ryhmillä on mahdollisuus oppia toinen toisiltaan. Myös opettaja

pystyy seuraamaa ryhmien työskentelyä ja tarvittaessa auttamaan ryhmiä tutkimuksessa eteenpäin.

6. Onnistumisen kokemuksia voidaan lisätä pitkin projektia ”kehumis-sessioilla”, jolloin korostetaan kunkin ryhmän hyvin onnistuneita asioita.

Kirjallisuudessa luovuuden ja ongelmanratkaisun käsitteiden yhteydessä mainitaan usein käsitepari ’uutta luova oppiminen ja opettaminen’ (Hakkarainen & Seitamaa-Hakkarainen, 2020). Opetuksen tavoitteena ei ole kuitenkaan se, että oppijat tuottaisivat uutta tietoa, vaan pikemminkin tukea oppijoita ymmärtämään, miten uusi tieto syntyy ja miten tietoa voi käyttää luovasti. Lisäksi koulussa harjoitellaan erilaisia työtapoja ja prosesseja, joita tarvitaan uuden tiedon tuottamiseen. Luovuus ja ongelmanratkaisu ovat näin ollen osa oppimaan oppimisen taitoa, jolloin päättely, luova ajattelu, kriittinen ajattelu ja ongelmanratkaisu ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa keskenään (Nilivaara & Vainikainen, 2022; Vainikainen & Koivuhovi, 2022). Mitä enemmän oppija saa itse suunnitella ongelman ratkaisemista, tehdä valintoja ja ratkaista erilaisia omaan elämään liittyviä ongelmia, sitä todennäköisempää on, että taito ratkaista ongelmia myös aikuisiässä on hyvä (Vainikainen & Greiff, 2022). Uutta luovan prosessin ohjaaminen vaatii opettajalta lisäksi joustavuutta, hetkessä toimimista, soveltamista, riskien ottamista ja uskoa omiin taitoihin, koska jokainen ongelmanratkaisuprosessi on yksilöllinen (Hakkarainen & Seitamaa-Hakkarainen, 2020). Kun opettaja valitsee ja käyttää luokassaan eri työtapoja ja menetelmiä, hänen on siis ensisijaisesti pohdittava, tukevatko nämä niin sanotun perinteisen ongelmanratkaisun lisäksi myös luovuutta ja sitä kautta uuden luomisen taitojen kehittymistä.

## 7.5 Ongelmanratkaisuprosessissa mahdollistuu oppijakeskeisyys

Vaiheittain etenevä ongelmanratkaisu vaatii oppijalta sitoutumista ja opettajalta hyviä ohjaustaitoja kuten tämän luvun aikaisemmissa kappaleissa on korostettu. Jotta oppija pystyy tehokkaaseen ongelmanratkaisuun, hänen on oltava mukana prosessin kaikissa vaiheissa aktiivisesti. Aktiivisella osallistumisella tarkoitetaan tässä niin ajattelu- kuin myös kädentaitoja sekä osallisuutta yksin ja ryhmässä työskentelyyn. Tutkimusten mukaan opettajat käyttävät usein opettajajohtoisia työtapoja. Opettaja siis muun muassa asettaa oppimis-

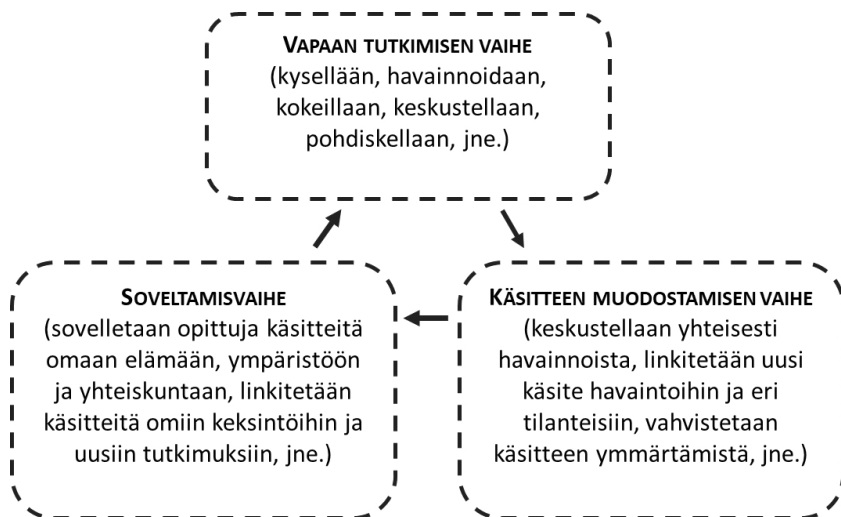
tavoitteet, kehottaa oppijoita kuuntelemaan sekä selittää itse, miten opittu asia liittyy oppijan arkeen ja kokemusmaailmaan (Taajamo & Puhakka, 2019).

Opettajajohtoisuus on toisinaan asetettu vastakkain oppijakeskeisten opetuskäytänteiden kanssa (Struyf ym., 2019). Opettajajohtoisuutta ei tulisi kuitenkaan pitää lähestymistapana, josta tulee päästä eroon. Oppimistavoitteiden saavuttaminen edellyttää monipuolisia työtapoja ja menetelmiä, joissa oppijakeskeisyys ja opettajajohtoisuus ovat tasapainossa (Scaife, 2012). Opettajalla on kuitenkin aina asiantuntijan asema oppimisprosessissa eli opettaja johtaa oppimista luokkatilanteessa, vaikka oppija olisi kuinka itseohjautuva (Trinidad, 2019). Ongelmanratkaisua tulee tukea aktivoivilla työtavoilla, jotka sisältävät muun muassa oppijoiden ideoiden ja arkikäsitysten huomioon ottamista sekä työskentelyä ryhmissä (Struyf ym., 2019).

Ongelmanratkaisussa oppijakeskeisyyden rinnalla toteutuu myös oppijälähtöisyys, jos ongelmat ovat huonosti määritetyt eli hyvin avoimet. Oppijälähtöinen opetus, on tilanne, jossa opiskeltava asia valikoituu oppijan kiinnostuksen mukaan, eikä se ole välttämättä suoraan kytketty opetussuunnitelmaan (Rosqvist ym., 2019). Oppija voi ihmetellä katsellessaan kukkaniittyä, miksi eri kukat nähdään eri värisinä, jolloin ihmettelyn kohteena ei ole pelkästään eri kasvilajit, vaan valon fysikaaliset ominaisuudet. Oppijälähtöisten työtapojen kehittämiseen luonnontieteissä vaikuttivat etenkin sveitsiläisen kehityspsykologin Jean Piaget'n työt (Bybee & Sund, 1982). Piaget'n opit vaikuttivat esimerkiksi Yhdysvalloissa 1960-luvulla kehitetyn *tutkivan oppimisen syklin* (invention learning cycle tai learning cycle in science) taustalla (Kuvio 7.3). Sykli ohjasi muun muassa biologian oppituntien suunnittelua (Bybee & Sund, 1982).

Tutkivan oppimisen sykli on kokenut tavallaan uudelleen tulemisen, kun etenkin luokanopettajat ovat kaivanneet selkeitä malleja oppijälähtöiseen ilmiöiden tarkasteluun ja tutkimiseen opetussuunnitelman perusteiden vaatimusten mukaisesti (Kesler & Kärnä, 2021). Sykli käynnistyy yleensä kysymyksellä, jonka asettaa joko opettaja tai oppijat. Biologian kontekstissa syklin aloittava kysymys voisi olla seuraava: Mitä puun lehdelle tapahtuu, kun se putoaa syksyllä maahan? Vapaan tutkimuksen vaiheessa voidaan seuraavaksi tutkia lehden hajoamista. Tällöin käsitteen muodostamisen vaiheessa on tärkeää ymmärtää käsitteet hajoaminen ja hajottaja. Oppijoiden iän mukaan käsitteitä voi olla myös lisää kuten ravinne, multa, ravintoverkko tai energia. Syklin

kenties tärkein vaihe on soveltamisen vaihe, sillä silloin oppijat pääsevät hyödyntämään oppimiaan tietoja ja taitoja ja sitä kautta myös osoittamaan ymmärryksensä. Kuvatussa esimerkissä soveltamisvaiheessa voidaan tehdä itse multaa kompostoimalla biologista jätettä ja hyödyntää saatua multaa kasvien kasvattamiseen. Kasvien kasvattaminen voi siten luontevasti ohjata uuteen kysymykseen ja uuden tutkivan syklin alkamiseen. Tutkivan oppimisen sykli on täten eräs vaiheittain etenevä malli, jolla tuetaan oppijan ongelmanratkaisutaitojen kehittymistä.



Kuvio 7.3. Tutkivan oppimisen sykli (mukailtu lähteistä Atkin & Karplus, 1962; Karplus & Thier, 1967, ks. myös Kesler & Kärnä, 2021).

Tutkimustulosten perusteella muun muassa koulun rakenteet näyttävät vaikuttavan siihen, miten oppijakeskeisesti opetusta toteutetaan (Kesler & Kärnä, 2021). Ne vaikuttavat esimerkiksi siihen, miten opettajille tarjottavat opetusmenetelmät tulevat osaksi opettajan opetusta (Simola, 2020). Esi- ja alakoulun opettajilla on suurempi mahdollisuus kehittää oppilastuntemustaan ja hyödyntää enemmän oppijakeskeisiä työtapoja (Seah & Chan, 2020; Wolff ym., 2020) kuin muilla kouluasteilla. Perusopetuksen ylemmillä vuosiluokilla ja lukiokoulutuksessa käytetäänkin alakouluun verrattuna enemmän sellaista oppilaskeskeistä opetusta, jossa oppijaa sitoutetaan ohjaamaan omaa opiske-

luuan (Akdemir & Özçelik, 2019). Tämä tarkoittaa, että oppijakeskeisessä opetuksessa oppijalla on mahdollisuus vaikuttaa oppimisen sisältöön, menetelmiin, oppimateriaaleihin ja oppimisympäristöön. Kun oppija tiedostaa, mitä hän osaa, mitä hän oppii ja mitä hänen tulisi vielä oppia, hän pystyy aktiivisesti vaikuttamaan omien ajattelu- ja oppimistaitojensa kehittymiseen (Di Biase, 2019). Kesler ja Kärnä (2021) analysoivat tutkimuksessaan eri kouluasteiden opettajien kirjallisia tuotoksia ja haastatteluja selvittääkseen, miten opettajat ajattelevat oppijakeskeisyyden toteutuvan omassa luonnontieteiden opetuksessa. Tutkimuksen tulosten mukaan esi- ja alkuopetuksessa opetettavan asian lähtökohtana ei ole yksittäinen oppiaine tai tieteenala ja ilmiöitä tutkitaan hyvin oppijalähtöisesti. Yläkoulussa taas opettajajohtoisuus näyttää korostuvan ja aineenopettajien on haastavaa tunnistaa oppijakeskeisiä työtapoja ja käyttää niitä (Kesler & Kärnä, 2021). Oppijakeskeisen työskentelyn aikana aineenopettaja voi kokea roolinsa vain oppimisen mahdollistajana ja jättäytyä ikään kuin oppijan oppimis- ja tutkimisprosessin ulkopuolelle (Ali, 2019; Kesler, 2020; Kesler & Kärnä, 2021). Yläkoulussa oppijakeskeisyys mielletäänkin vaikkapa oppijoiden itsenäisenä työskentelynä projekteissa tai tehtävien parissa (Kesler & Kärnä, 2021). Tällöin voi kuitenkin syntyä tilanne, jossa oppija ei saa opettajalta riittävästi ohjausta ja ongelmanratkaisuprosessi ei etene (Kesler, 2020).

Niin ikään Keslerin ja Kärnän (2021) mukaan oppijakeskeistä opetusta toteuttavat opettajat hyödyntävät paljon keskustelemaa, pohtimiseen ja ihmettelyyn rohkaisevaa ilmapiiriä. Kuten mainittu jo aikaisemmin tässä luvussa, keskustelulla ja dialogisella opetuksella on useita tärkeitä tehtäviä ongelmanratkaisutaitojen kehittymisen tukemisessa (Struyf ym., 2019). Ensinnäkin keskustelun, kyselyn ja dialogin avulla opettaja ohjaa sekä antaa mallin ongelmanratkaisuprosessista: opettaja välittää omaa osaamistaan ja tietämystään oppijoille (van Zee ym., 2001). Toisaalta kun opetuksessa panostetaan käytäntöön ja keskusteluun tiedon rakentamisen aikana, se johtaa ymmärrykseen (Duschl & Hamilton, 2011). Opettajan taidot dialogin rakentajana ja keskustelun ylläpitäjänä ovat tärkeitä (esim. Gillies, 2019; Zhang ym., 2018). Opettaja antaa myös suullista palautetta ja tekee yhteenvetoja oppijoiden puheenvuorojen pohjalta (Skarbø Solem & Skovholt, 2019). Tällä tavalla oppija saa välitöntä palautetta siitä, miten hänen ongelmanratkaisuprosessinsa edistyy. Oppijan aktiivinen osallisuus opetustilanteessa voi ilmetä myös kriittisenä näkökulmana. Jos oppija ei pysty havaitsemaan opittavassa asiassa merkityksellisyyttä itselleen, hän saattaa kyseenalaistaa opettajan toiminnan (Rajala ym., 2016). Rajala ja muut (2016) kuvaavat tilanteen, jossa opettaja ikään kuin ”puhuu opetussuun-

nitelman äänellä” sitomatta opetusta oppijoiden omaan kokemusmaailmaan. Oppijakeskeisyydessä haasteellisinta lieneekin oppijan oppimiselle asettamien tavoitteiden ja aktiivisen toiminnan kytkeminen opetussuunnitelman tavoitteisiin ja sisältöihin (Zhang ym., 2018).

## 7.6 Monialaisuus biologian opetuksessa

Oppiaineena biologia on monialainen kokonaisuus, mahdollistaen monialaisten ongelmien ratkaisemisen – samalla se haastaa opettajaa pohtimaan monialaisuutta. Monialaisuuden käsitettä ei ole helppo avata yksiselitteisesti. Toisinaan monialaisuus voidaan tulkita eri oppiaineita integroivaksi opetuksiksi, jossa tavoitteena on ymmärtää monipuolisia ilmiöitä ja lähestyä niitä tieteellisestä näkökulmasta. Toisinaan taas monialaisuus voi tarkoittaa opitun soveltamista erilaisissa kouluopetuksen ulkopuolelle sijoittuvissa konteksteissa. Kestävän kehityksen näkökulmasta monialaisuus tulisi ymmärtää laajassa merkityksessä, sillä kestävyuden puolesta toimiminen vaatii niin monialaisia tietoja kuin taitojakin (Cantell, 2015). Aina ei ole yksiselitteistä mikä tiedonala kunkin ilmiön yhteydessä painottuu. Mikäli ilmiötä tarkastellaan hyvin oppijälähtöisesti ja oppija saa itse määritellä tutkittavan kohteen, opettajalla on oltava valmiuksia tutkivan prosessin aikana selvittää itselleenkin vieraita käsitteitä. Oppija voi tehdä vaikkapa havainnon, että osa puiden lehdistä on vihreitä ja osa ruskeita. Havainnosta muodostuu kysymys tai ongelma, jota lähdetään selvittämään: Mistä lehtien vihreä väri johtuu? Yhteisen keskustelun ja aineiston keräämisen seurauksena päädytään todennäköisesti yhteyttämisen prosessin tarkasteluun. Kuitenkin sen selittäminen, miksi viherhiukkaset ovat juuri vihreitä eivätkä punaisia, edellyttää opettajalta valon fysikaalisten ominaisuuksien tuntemista ja vastaavien käsitteiden hallintaa sekä tietoja ja taitoja siitä, miten lehtien väriaineita voi opetuksessa tutkia.

Monialaisen ongelman ratkaisemista voidaan opettaa eri oppiaineiden opettajien yhteistyönä. Esimerkiksi 2010-luvun opetussuunnitelman perusteet (OPH, 2014) edellyttävät kouluilta monialaisten oppimiskokonaisuuksien suunnittelua ja toteuttamista. Monialaisissa oppimiskokonaisuuksissa on otettava huomioon monialaisuus laajassa merkityksessä: eri oppiaineiden ja tiedonalojen, oppimisympäristöjen, yhteistyökumppaneiden ja työtapojen moninaisuutena. Parhaimmillaan tällaiset kokonaisuudet suunnitellaan ja toteutetaan hyödyntämällä *tiimiopettajuutta*. Lyhyesti tiimiopettajuus voidaan



määritellä opetuksiksi, jossa kaksi tai useampi opettaja yhdessä suunnittelee, opettaa ja arvioi erilaisia opetuskokonaisuuksia (Bacharach ym., 2010). Tiimiopettajuuden tavoitteen ei tarvitse kuitenkaan rajoittua vain monialaiseen opimiskokonaisuuteen, vaan sitä voi hyödyntää biologian opetuksessa muutenkin. Saman oppiaineen opettajatiimit voivat syntyä luontevasti, jos koulussa on useita saman oppiaineen aineenopettajia. Toisinaan tiimiopettajuus on osa koulun toimintatapaa ja koulu tarjoaa siihen puitteet kuten yhteissuunnittelu-aikaa ja lukujärjestyksessä oppituntien samanaikaisuutta (Antinluoma ym., 2021; Havu-Nuutinen ym., 2019). Toimivan tiimiopettajuuden rakentaminen vaatii sekä aikaa että tietoista toimimista yhteistyön puolesta (Rytivaara ym., 2019). Tiimiopettajuus on onnistuessaan palkitsevaa ja edistää opettajan omaa ammatillista osaamista. Tiimeissä opettaminen voi antaa opettajalle luottamusta esimerkiksi tutkimuksellisten opetusmenetelmien kokeiluun luokassa, vahvistaa omaa pedagogista sisältötietoa ja antaa mahdollisuuden jakaa asiantuntijuutta ottamalla huomioon opettajan oman kiinnostuksen (Havu-Nuutinen ym., 2019). Lisäksi tiimiopettajuus vahvistaa työuransa alkuvaiheessa olevien opettajien luokanhallintataitoja sekä ymmärrystä oppimisympäristöjen merkityksestä opetuksessa (Mononen ym., 2023). Esimerkiksi energian siirtymistä ja säilymistä voidaan tarkastella fysiikassa, kemiassa ja biologiassa samanaikaisesti. Yhteisellä suunnittelulla opettajat pystyvät nivomaan aiheen oppijan näkökulmasta yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

## 7.7 Ongelmanratkaisutaitojen kehittymisen tukeminen biologian opetuksessa

Laaja-alaisen osaamisen kehittymisen tukeminen – ongelmanratkaisu ja luova ongelmanratkaisu mukaan lukien – on opetuksessa jatkuva haaste. Opettaja tasapainoilee opetuksen suunnittelussa perustaitojen ja -tietojen opettamisen ja metakognitiivisten taitojen tukemisen välillä. Kuitenkin on myös hyviä kokemuksia, miten eri taito- ja tietotasoa voidaan luontevasti integroida. Etenkin vuoden 2014 perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet ovat innostaneet tutkijoita, opettajakouluttajia ja opettajia kokeilemaan eri opetusmenetelmiä ja -malleja. Seuraavaksi esitellään kolme kokeilua, jossa biologian tietoja ja taitoja on opetettu ja opittu monipuolisesti.

## *Monialaisia oppimiskokonaisuuksia ja ongelmanratkaisua LumaLähetit-toimintamallilla*

Tiedekasvatuksen vision 3 mukaisesti kestävyysmurroksen saavuttamiseen tarvitaan monien tieteenalojen yhteisiä ponnisteluja. Näin ollen myös kouluopetuksessa tulee olla tilaisuuksia, jossa biologian oppiaine tekee yhteistyötä muiden oppiaineiden kanssa. Tällaista monialaista yhteistyötä kehitettiin ja testattiin LumaLähetit-toimintamallissa. Toimintamalli syntyi Helsingin yliopistossa kasvatustieteellisen tiedekunnan Lumo-keskuksen kehittämistyönä hankkeessa nimeltä ”LumaLähetit: eheyttävän ympäristöopin didaktiikan tutkimus- ja kehittämishanke” (Kervinen ym., 2016). Mallia hyödynnettiin erityisesti LUMASUOMEN ”Koulutuksesta kouluun” -hankkeessa (Havu-Nuutinen ym., 2019; Kervinen ym., 2022; Kesler ym., 2019). Vuosina 2014–2019 toteutetun toimintamallin tavoitteena oli kehittää

- “opettajankoulutuslaitoksen ja koulujen yhteistyötä
- tutkimuksellisuuden, monialaisten oppimiskokonaisuuksien ja tiimiopettajuuden alueita
- opettajien ja opettajaopiskelijoiden valmiuksia ja motivaatiota toteuttaa erilaisia työtapoja sekä monipuolisia välineitä ja oppimisympäristöjä hyödyntäviä opetuskokonaisuuksia
- ja tuottaa uusia ideoita ja materiaaleja tutkimukselliseen opetukseen ja lisätä valmiuksia kollegiaaliseen yhteistyöhön ja tiimiopettajuuteen sekä verkostoitua opetuksessa.” (Kesler ym., 2019)

Opettajista, opettajaksi opiskelevista (aineen- ja luokanopettajaksi opiskelevat) ja yliopistonlehtoreista kootut asiantuntijatiimit suunnittelivat ja toteuttivat noin kuuden oppitunnin mittaisia, kahdesta kuuteen viikkoa kestäviä monialaisia oppimiskokonaisuuksia peruskouluihin. Integroitavia oppiaineita olivat biologia, terveystieto, maantieto, kemia, fysiikka ja matematiikka. Lisäksi koulutasolla kokonaisuuteen saatettiin integroida kuvataidetta, musiikkia, liikuntaa, äidinkieltä tai muita oppiaineita. Hankkeen aikana toteutettiin useita kokonaisuuksia, joista 15:n kokonaisuuden kuvaus on julkaistu ”Innos-tu tutkimaan ja kokeilemaan yli oppiainerajojen! Ideoita opetukseen LumaLähetit-hankkeesta” (Kesler ym., 2019).

Hankkeen Kuusi ja karikke -opetuskokonaisuuden tiimissä työskentelivät yhdessä biologian ja matematiikan opettajat, matematiikan, biologian ja kemian

opettajaksi opiskelevat sekä matematiikan ja biologian didaktiikan yliopistonlehtorit. Kyseisen kokonaisuuden tavoitteena oli käsitellä asioita, jotka aidosti kiinnostaisivat oppijoita. Projektin aloitettiin oppijoiden kanssa yhteisten tutkimuskysymysten ideoinnilla. Näiden tutkimuskysymysten perusteella asiantuntijatiimi suunnitteli opetuksen. Opetus sijoittui maastoon sekä biologian ja matematiikan luokkiin. Kokonaisuuden tärkein tavoite oli mallintaa biologian tutkimusta ja sen eri vaiheita. Tutkimuksellinen kokonaisuus sisälsi muun muassa havainnointia metsämaastossa, tiedon keruuta metsäpuiden (kuusien) iästä, koosta ja määrästä, karikkeen koostumuksen tutkimista, bakteerien kasvattamista sekä pH:n ja ravinteiden maaperäanalyyseja.

Aikaisemmin mainittuihin tiimiopettajuuteen liittyviin haasteisiin törmätettiin myös Kuusi ja Karike -opetuskokonaisuuden tiimissä. Esimerkiksi eri oppiaineiden sijoittuminen lukujärjestyksen eri palkkeihin tai opettajaksi opiskelevien lukujärjestys asettivat tiukat raamit kokonaisuuden järjestämiselle. Kokemus osoitti, miten tärkeää on jo hyvin varhaisessa vaiheessa kouluvuotta suunniteltaessa ottaa huomioon eri oppiaineiden yhteistyöpyrkimykset. Niin ikään joillekin oppijoille oli vaikeaa hahmottaa monialaisen kokonaisuuden oppimistavoitteita, ja he ajattelivat projektin olevan hauska ”välipala” kouluvuoden aikana. Mikäli monialaisen oppimiskokonaisuuden tavoitteiden saavuttaminen vaikuttaa yksittäisten oppiaineiden arviointiin, siitä on muistettava sanoa toistuvasti myös oppijoille. Toisin sanoen oppijoita kiinnostaa, mitkä asiat monialaisessa kokonaisuudessa vaikuttavat arvosanaan ja mitkä eivät. Koska aineenopettajalla on jakamaton arviointivastuu omassa oppiaineessa, monialaisissa kokonaisuuksissa arviointi saattaa jäädä järjestämättä. Tätä ei voi kuitenkaan suositella, koska monialaisessa kokonaisuudessa asetetaan tavoitteita ja opitaan, joten oppimista kuuluu myös arvioida. Hankkeen tuloksia arvioitiin erityisesti opettajaksi opiskelevien ja opettajien yhteistyön näkökulmasta (Kervinen ym., 2022). Tulosten mukaan suurimpana haasteena voidaan pitää monitahoisen ja monialaisen yhteistyön käytännön järjestelyä. Monialaisuus edellyttää riittäviä resursseja, kuin myös ajan ja paikan allokoimista. Kun nämä esteet minimoidaan, monialaiseen oppimiskokonaisuuteen osallistuminen on innostavaa ja motivoivaa (Kervinen ym., 2022).

## *Ongelmanratkaisutaitojen harjoittelu projektioppimisen menetelmällä lukiossa*

Projekti on sana, johon jokainen opettaja törmää työssään. Monesti projekteiksi sanotaan kokonaisuuksia, joilla on selkeä alku ja loppu, ja jotka edellyttävät laajaa yhteistyötä. Projektia voidaan siis pitää eräänlaisena yhteisenä nimittäjänä sekalaiselle joukolle opetusmenetelmiä ja työtapoja. Projektin avulla ja aikana oppimista ei kannata kuitenkaan rinnastaa projektioppimisen menetelmään.

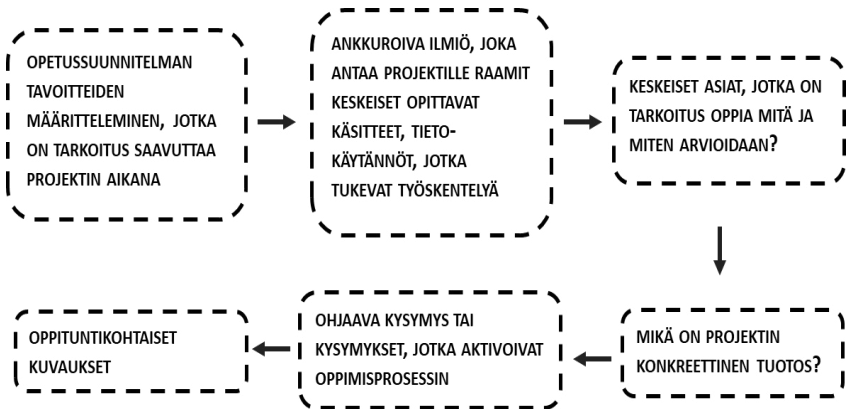
Kansainvälisessä hankkeessa (Oppilaiden sitoutuminen opiskeluun ja oppimisen arviointi digitaalisesti intensiivisessä lukion luonnontieteiden projektioppimisessa – PIRE-hanke) kehitettiin luonnontieteiden opettajien kanssa nimenomaan projektioppimisen menetelmää lukioihin. Lukiolaiset valikoituvat kohderyhmäksi, koska lukiossa viimeistään opiskelijoiden tulee ymmärtää opittavien asioiden linkittyminen osaksi laajempia ilmiöitä. Projektioppiminen on eräs esimerkki vaihe vaiheelta etenevästä opetusmenetelmästä, jossa tuetaan ongelmanratkaisutaitojen kehittymistä. Siinä vaiheet kuvataan seikkaperäisesti ja sidotaan toisiinsa niin, että onnistuneeseen oppimiskokemukseen tarvitaan kaikkia vaiheita. Hankkeessa hyödynnetty projektioppimisen menetelmä perustuu Phyllis Blumenfeldin ja Joe Krajcikin kollegoineen esittämiin ajatuksiin oppimisen tukemisesta (Blumenfeld ym., 1991; Krajcik & Shin, 2015). Niin ikään menetelmässä integroidaan laaja-alaisia taitoja sekä luonnon- ja insinööritieteiden tietokäytänteitä. Tässä luvussa esitetyssä mallissa voidaan havaita monia yhtymäkohtia vastaavanlaisten menetelmien ja työtapojen kanssa, mutta esittelyssä ei ole kuitenkaan tarkoitus vertailla mallia muihin vaan esitellä juuri mainitussa hankkeessa kehitettyä mallia.

Lavonen ja Juuti (2022) listaavat seuraavat tietokäytänteet, jotka liittyvät myös biologian opetuksen ja oppimisen tavoitteisiin:

- tieteellisten kysymysten laatiminen ja ongelmien asettaminen
- mallien kehittäminen ja käyttö
- tutkimuksen suunnittelu ja toteuttaminen
- aineiston analysointi ja tulkitseminen
- matemaattinen ja laskennallinen ajattelu
- selitysten rakentaminen ja ratkaisujen kehittäminen
- argumenttien esittäminen tulosten perusteella

- informaation hankkiminen
- arviointi
- kommunikaatio.

Projektioppimisessa, kuten kaikessa muussakin oppimisessa, lähtökohtana on opetussuunnitelmassa asetetut tavoitteet (Kuvio 7.4). Oppijakeskeinen projekti aloitetaan ohjaavalla kysymyksellä, jonka tarkoitus on sitouttaa oppijat tulevaan aiheeseen, motivoida ja herättää uteliaisuus. Opettajan tulee ohjaavien kysymysten, demonstraatioiden ja esimerkkien avulla luoda oppimisympäristö, jossa oppijoilla on mahdollista rakentaa aktiivisesti tietoa niin yksin kuin myös yhteisöllisesti. Oppijoille annetaan mahdollisuus hyödyntää kognitiivisia välineitä kuten digitaalisia ympäristöjä tai laitteita. Tässä kyseisessä mallissa projektioppimisen tulisi johtaa aina konkreettiseen tuotokseen, artefaktiin. Se voi olla muun muassa malli, jonka tarkoituksena on tehdä oppijoiden tieto ja ajattelu näkyväksi (Lavonen & Juuti, 2022).



Kuvio 7.4. Opintojakson suunnittelun malli projektioppimisen menetelmää soveltaen (muokattu lähteestä Kesler ym., 2022).

Projektioppiminen edellyttää oppijoilta itseohjautuvuutta, aktiivisuutta ja vastuun ottamista omasta oppimisesta. Mitä enemmän opettaja ja oppijat pääsevät projektioppimista harjoittelemaan, sitä paremmin menetelmä tukee oppimiselle asetettujen tavoitteiden saavuttamista. Projektioppimisen suunnittelu kohdistuu kahteen tasoon. Ensin suunnitellaan useamman oppitunnin koko-

naisuus ja määritellään sen aikana opittavat käsitteet ja taidot tai tietokäytännöt. Sen jälkeen tämä kokonaisuus pilkotaan yksittäisiksi oppitunneiksi.

Kesler ja muut (2022) ovat kuvanneet lukioon suunnitellun neljän oppitunnin projektioppimisen kokonaisuuden aiheena populaatioekologia. Kuvattu oppimiskokonaisuus noudattaa Kuviossa 7.4 esitettyä opetuksen etenemistä ja suunnittelua projektioppimisen mallin mukaisesti. Kyseisessä esimerkissä keskitytään populaatioekologiaan, jossa on tavoitteena oppia ympäristötekijöiden vaikutuksista eliöiden sopeutumiseen, eliöiden välisten suhteiden mallintamiseen ja digivälineiden monipuoliseen käyttöön. Projektia ohjaa kysymys “Miksi populaatiot eivät kasva luonnossa rajattomasti?”. Projektin konkreettinen tuotos on opiskelijoiden tekemä ennuste oman eliölajinsa populaation kasvusta, siitä kuvaajan piirtäminen ja kasvuun vaikuttavien tekijöiden esitleminen.

Projektioppimisessa olisi tarpeen kiinnittää tavallista enemmän ja laajemmin huomiota *kokonaisvaltaiseen luonnontieteiden opetukseen* eli luonnontieteiden opetuksen koherenssiin (coherence in science teaching). Yhtenä esimerkkinä voisi mainita Helsingin yliopiston osallistumisen kansainväliseen luonnontieteiden opetuksen DECOSTE-hankkeeseen vuosina 2019–2023, jolloin kehitettiin myös ongelmanratkaisutaitojen kehittymistä tukevia opetuksen suunnittelun työkaluja.

Koherenssijattelussa korostetaan *keskeisten käsitteiden* (core ideas, key concepts) oppimista eri tilanteissa ja konteksteissa, ja yhdessä luonnontieteiden tietokäytäntöjen kanssa. Tavoitteena on oppia ymmärtämään ilmiöitä ja soveltaa opittua uusissa tilanteissa (Furtak & Penuel, 2019; Schneider ym., 2020). Tutkimusten perusteella vaiheittain etenevät työtavat ja opetusmenetelmät, projektioppiminen mukaan lukien, tukevat myös luonnontieteiden opetuksen koherenssia (Kawasaki & Sandoval, 2019; Nordine ym., 2021).

Schneider ja muut (2020) kuvaavat projektioppimisen olevan haastavaa sekä oppijoille että opettajille. Ennen kaikkia haasteet liittyvät perinteisistä opetustavoista luopumiseen. Kuten jo aikaisemmin tässä luvussa on kuvattu, ongelmanratkaisu vaatii pitkäjänteistä harjoittelua, epävarmuuden sietämistä ja rohkeutta kokeilla uusia asioita. Onnistuessaan projektioppiminen tukee erityisesti systeemijattelun kehittymistä ja auttaa oppijoita ymmärtämään,

mihin laajempaan kokonaisuuteen koulussa opittavat asiat liittyvät (Schneider ym., 2020).

## *Ongelmanratkaisun tukeminen kolmevaihemallilla biologian opetuksessa*

Biologian ja muiden luonnontieteiden opiskelun kiinnostavuuden lisäämiseksi on eurooppalaisissa Parsel- ja Profiles-projekteissa kehitetty niin sanottu kolmivaihemalli, joka koostuu skenaario-, tutkimus- ja päätöksentekovaiheesta (Bolte ym., 2012) (Kuvio 7.5). Biologian opiskelun kytkeminen jokapäiväiseen elämään paikallisesti, alueellisesti ja maailmanlaajuisesti kiinnostaa oppijoita. Myös oppijoiden mahdollisuudet vaikuttaa käsiteltävien aiheiden valintaan ja tutkimuskysymysten muotoiluun lisää heidän motivaatiotaan opiskella. Kolmivaihemalli soveltuu myös biologian opetuksen eheyttämiseen.



*Kuvio 7.5. Kolmivaihemalli biologian opetuksessa (muokattu lähteestä Holbrook & Rannikmaa, 2011).*

Mallin kaikki kolme vaihetta – skenaario-, tutkimus- ja päätöksentekovaihe, linkittyvät kiinteästi toisiinsa. Lähtötilanne eli skenaariovaihe sisältää ongelman tai ongelmia, johon tai joihin ei ole yksiselitteistä vastausta. Skenaariovai-

heessa keskeistä on oppijoiden motivoinnin ja kiinnostuksen herättäminen. Tämä on mahdollista, jos oppijat kokevat aiheen itselleen merkittäväksi, ja oppisisällöt liittyvät oppijan autenttisiin elämäntilanteisiin. Oppijat vastaavat skenaariovaiheessa esitettyihin ongelmiin oman ennakkotietämyksensä pohjalta (Bolte ym., 2012). Tutkimusvaiheessa oppijat rakentavat ymmärrystään opiskelun kohteena olevasta ilmiöstä yhteisöllisesti. Siinä voidaan painottaa vaikkapa maasto- ja laboratoriotyöskentelyä, kriittistä tiedon hankintaa, argumentointia, tutkimusten tekemistä tai jotakin muuta. Päätöksentekovaiheessa oppijat soveltavat tutkimusvaiheessa opittuja tietoja ottamalla uudeleen kantaa skenaariossa esitettyihin ongelmiin. Päätöksentekovaihe voidaan pohjata väittelyyn, roolileikkeihin tai ryhmäkeskusteluun. Keskeistä on oppijoiden perustellut argumentit, jotka pohjautuvat oppijoiden uuteen käsitteelliseen ymmärrykseen opiskeltavasta asiasta. Päätöksentekovaiheessa mallinnetaan myös tosielämän päätöksentekotilanteita. (ks. Hämeen-Anttila ym., 2013; Kärkkäinen ym., 2019).

Seuraavaksi esiteltävä kolmivaihemalli kuvaa perusopetuksen kahdeksannen luokan biologian opetusta, jossa aiheena oli eläinlajin sopeutuminen ympäristöön (Huusko ym., 2018). Tärkeää on oppia, että ympäristö vaikuttaa eliöiden elinmahdollisuuksiin ja eliölajit ovat evoluution aikana sopeutuneet elämään vuorovaikutuksessa muiden eliöiden kanssa sekä luonnon fysikaalis-kemiallisiin ominaisuuksiin. Tämä tavoite saavutetaan, kun aihetta tarkastellaan monipuolisesti eri näkökulmista.

*Skenaariovaihe* aloitettiin johdatteluna ja aktivointina aiheeseen, jolloin eliölajin sopeutumista ympäristöön tarkasteltiin lehtiartikkelin ja kuva-arvoituksen avulla. Lehtiartikkeli kertoi uudesta kansallisesta lajilöydöstä. Kuva-arvoituksessa oppijat etsivät ja nimesivät kuvaan ”piiloutuneet” eläinlajit. Lisäksi oppijat pohtivat eläinkuvien (esim. aavikko-, puna- ja napakettu, jääkarhu, karhu) avulla eläinten sopeutumista erilaisiin elinympäristöihin tarkastelemalla eläimen kokoa, turkkia, korvia ja muotoa. Lisäksi pohdittiin, miksi uusia eläin- ja kasvilajeja tutkitaan ja mikä merkitys uusien lajien löytämisellä on. Skenaariovaiheen alussa kartoitettiin oppijoiden ennakkokäsityksiä tuntemattomien alueiden ja lajien tutkimisesta. Lisäksi oppijat saivat tehtävänannon, jonka mukaan oppijat ovat tutkimusmatkailijoita, joiden tehtävänä on lähteä selvittämään tietyn koulun lähiympäristössä olevan alueen lajistoa. (Huusko ym., 2018).



*Tutkimusvaiheessa* oppijat jaettiin pienryhmiin ja ryhmät saivat vihjeen tai vihjeitä lähimetsän lajista. Kyse oli kuvitteellisesta uudesta lajista eli tavoitteena ei ollut, että oppijat tekisivät havaintoja jostakin olemassa olevasta lajista. Havaintojen vihjeet voivat olla seuraavanlaisia:

- Laji 1: Lajin on havaittu liikkuvan yöllä.
- Laji 2: Lajista ei ole tehty havaintoja talvella.
- Laji 3: Lajin on havaittu jättävän pieniä jälkiä kosteisiin paikkoihin.
- Laji 4: Lajin on havaittu jättävän pieniä jälkiä puihin.
- Laji 5: Laji on saalistaessaan jättänyt toisen eläimen verta ja luita ympäristöön (Huusko ym., 2018).

Annetun vihjeen tai vihjeiden avulla ryhmät tekivät tutkimusvaiheessa tutkimussuunnitelman ennen maastotutkimuksia. Tutkimussuunnitelmassa ryhmät kuvasivat, millaisia asioita he suunnittelevat tutkivansa eliölajin elinympäristöstä. Oppijoiden tutkimuksen tukena maastossa ja myöhemmin luokassa työskenneltäessä oli tutkimusvihko, jonne he merkitsivät tutkimustuloksia, havaintoja, omia päätelmiä ja ideoita. Tutkimusvihkoon liitettiin alueen kartta, joka auttoi hahmottamaan tutkimusaluetta. Maastotutkimusten aikana oppijat ottivat kuvia havainnoistaan. Maastossa oppijat mittasivat muun muassa alueen lämpötilaa, tekivät happamuustutkimuksia, mittasivat valon määrää sekä tekivät havaintoja äänistä. Tietojen perusteella oppijat pohtivat kyseessä olevalle eliölajille sopeutumisen kannalta välttämättömiä tekijöitä, kuten ravinnonhankintatapaa, pesäpaikkaa, liikkumismuotoa sekä eläimen ulkoisia ominaisuuksia. Maastossa oltaessa selvitettiin myös, miten kaukana eläimen elinympäristöstä elää ihmisiä. (Huusko ym., 2018).

*Päätöksentekovaiheessa* oppijat kehittivät tutkimusten ja havaintojensa perusteella metsään sopeutuneen eläinlajin, johon tutkimusvaiheessa annettu vihje tai vihjeet sopsivat. Suunnitellut eliölajit toteutettiin muovailemalla ja piirtämällä. Eliölajit esiteltiin koko luokalle. Päätöksentekovaiheessa pohdittiin tutkimusalueella elävien lajien välisiä suhteita, lajin ja ihmisen välistä suhdetta, ihmisen vaikutusta lajiin, lajin merkitystä ihmiselle ja lajin suojelun tarvetta. Loppuyhteenvedon ja koontina pohdittiin ihmisen sopeutumista erilaisiin muuttuviin ympäristöihin (Huusko ym., 2018).

Opettajien, opettajaopiskelijoiden sekä opettajankouluttajien kokemusten mukaan kolmevaihemalli opetuksellisena lähestymistapana mahdollistaa

oppijoiden kiinnostuksen, motivaation ja osallisuuden lisäämisen. Samoin mahdollistuu oppiainerajoja ylittävä ja eri aineiden asiantuntijuutta yhdistävä työskentely. Kolmevaihemalliin liittyvät haasteet koskivat lähinnä skenaario- ja päätöksentekovaihetta. Skenaariovaiheessa koettiin haastavana se, miten laatia oppijoita innostava ja kiinnostava skenaario. Päätöksentekovaiheessa haasteellista oli riittävän ajan löytäminen. Monipuolinen arviointi sekä oppijoiden mukaan ottaminen suunnitteluun koettiin tärkeäksi. (Sormunen ym., 2017). Oppijoiden kokemusten mukaan kolmevaihemalli mahdollistaa yhteisöllisen työskentelyn, keskustelujen ja tiedon jakamisen (Kärkkäinen ym., 2018; Kärkkäinen ym., 2019) sekä osallistumisen yhteiskunnalliseen keskusteluun ja päätöksentekoon (Varis ym., 2018).

Kestävyysmurroksen aikakaudella koulutukselle on asetettu vaativia laaja-alaisen osaamisen tavoitteita, joiden saavuttamisen tukena voidaan hyödyntää muun muassa edellä kuvattuja esimerkkejä. Toisaalta tavoitteet kohdistuvat aina lisääntyvän tiedon hallitsemiseen ja toisaalta kykyyn ratkaista ongelmia ja hyödyntää saatuja ratkaisuja paremman tulevaisuuden rakentamiseen. Samalla opettajan on huolehdittava myös omasta laaja-alaisesta osaamisestaan: ymmärtää ja toteuttaa eri tieteenalojen yhteistyötä, hallita monipuolisia opetusmenetelmiä, ohjata oppijoita ongelmanratkaisuprosessissa, tehdä yhteistyötä eri alojen asiantuntijoiden kanssa ja olla mukana yhteiskunnallisessa päätöksenteossa. Tehtävät voivat vaikuttaa ylivoimaiselta, mutta pientenkin askelten avulla voidaan saavuttaa paljon, jos toimitaan päämäärätietoisesti.

## Luku 8. Biologiaa luokkahuoneen ulkopuolella

ARJA KAASINEN JA ANTTONI KERVINEN

Koulu on perinteisesti ajateltu paikkana, jossa opetus tapahtuu luokkahuoneissa. Nykyään opetusta voidaan kuitenkin siirtää entistä laajemmin vaikkapa lähialueen rakennettuun ympäristöön (Hilander & Tani, 2022; Withrow-Clark ym., 2015) tai luontokohteisiin (Fägerstam & Blom, 2012; Kuo ym., 2019). Ulko-oppimisympäristöjä kannustetaan hyödyntämään oppimisessa monipuolisesti (ks. Luku 2; Kaasinen & Myllyniemi, 2023). Myös biologian opetuksessa on syytä pohtia mitä ilmiöitä, tietoja ja taitoja olisi oppimisen kannalta hyödyllistä opiskella muualla kuin luokkahuoneessa ja millaisin pedagogisin keinoin niitä voisi lähestyä. Tässä luvussa tarkastellaan erityisesti maasto-opetusta, joka on biologian opetuksen tutuin ja perinteisin ulkona opettamisen muoto. Samalla avataan muun muassa biodiversiteettikasvatuksen, lajintunnistuksen ja kestävyuden näkökulmia suhteessa maasto-opetukseen. Lopuksi esitellään esimerkinomaisesti ja käytännönläheisesti muita koulun ulkopuolisia oppimisympäristöjä, joita voisi hyödyntää biologian opetuksessa ja oppimisessa.

### 8.1 Opetusta koulussa ja sen ulkopuolella

Koulunkäynnin eräs suurista haasteista on, että oppijat voivat kokea opetetavat aiheet etäisiksi ja irrallisiksi jokapäiväisestä elämästä (Rajala ym., 2016). Olennainen osa opetusta ovatkin oppijoiden kysymykset ja ihmettely siitä, mitä hyötyä opetuksesta on heidän omassa elämässään (vrt. alaluku 2.3). Pelkästään se, että koulua käydään tyypillisimmin siihen tarkoitetuissa rakennuksissa ja luokkahuoneissa, vahvistaa helposti vaikutelmaa, että koulu on muusta maailmasta erillinen alue omine sääntöineen. Luonnontieteiden opetuksessa luokkahuoneen ulkopuolisilla oppimiskokemuksilla niin kouluaikana kuin sen ulkopuolellakin on havaittu olevan merkittävä myönteinen vaikutus sekä kiinnostukseen luonnontieteisiin että uravalintoihin (Rennie, 2014). Vierailu tuo vaihtelua koulun arkeen, ja se voi myös herättää motivaatiota ja *sitoutumista* (engagement) monenlaiseen oppimiseen (Rajala & Akkerman, 2019).

Laajassa kotimaisessa survey-tutkimuksessa havaittiin, että perusopetuksen yhdeksäsluokkalaisten kiinnostus biologian sisältötiedon eri alueita kohtaan on yhteydessä siihen, kuinka paljon oppijoilla on aiheeseen liittyviä koulun ulkopuolisia kokemuksia. Esimerkiksi kiinnostus elollista luontoa kohtaan oli yhteydessä oppijoiden omien luontokokemusten yleisyyteen (Uitto ym., 2006). Tutkimus viittaa siihen, että opetuksen mielekkyyttä (Stuckey ym., 2013) voidaan vahvistaa muun muassa koulun ulkopuolisen opetuksen avulla. Ulkona opettaminen, vierailut tai kouluun kutsutut vierailijat ovatkin tapoja rakentaa *jatkuvuutta* (continuity) ja yhteyttä kouluoppimisen ja arkielämän välille (Bronkhorst & Akkerman, 2016; Varelas ym., 2011). Muun muassa retki lähipuistoon tai vierailu jätevedenpuhdistamolle tarjoavat mahdollisuuden tutustua biologian ilmiöihin sellaisissa yhteyksissä, jotka linkittyvät oppijan kokemusmaailmaan ja yhteiskuntaan konkreettisemmin kuin pelkästään luokkahuoneessa opiskelu.

*Koulun ulkopuolella tapahtuva opetus* (out-of-school education) voidaan määrittellä formaalin opetuksen ja informaalin oppimisen linkiksi ja yhdistelmäksi (Salmi & Thuneberg, 2022). Siinä formaali eli koulun opetussuunnitelman mukainen opetus yhdistyy informaaliin eli koulun ulkopuolella tapahtuvaan opetukseen. Suomessa tämä on osa koululainsäädäntöä, ja opetussuunnitelmien perusteet kannustavat koulun ulkopuolella tapahtuvaan opetukseen (mm. OPH, 2014; Salmi & Thuneberg, 2022). Opetussuunnitelmaan kuuluvina maasto-opetus, vierailut ja vapaamuotoiset retket koulun ulkopuolelle ovat olleet tärkeä osa koulun opetusta, toimintaa ja kulttuuria vuosikymmenien ajan (mm. Eloranta ym., 2005; Falk, 1982; Illich, 1971; Poijarvi, 1989).

Siirtyminen tutun koulutilan ulkopuolelle voi tuntua oppijasta haasteelliselta, jopa pelottavalta, jos hänellä ei ole esimerkiksi kokemuksia metsässä liikkumisesta tai vierailukohteessa toimimisesta. Tällöin motivaatio ja kiinnostus opetusta kohtaan voivat jäädä vähäisiksi, koska oppija joutuu ylittämään rajan tutun ja vieraan toiminnan välillä. Bronkhorst ja Akkerman (2016) kuvaavat tällaista tilannetta oppimisen kontekstien *epäjatkuvuutena* (discontinuity). Syy epäjatkuvuuteen voi liittyä moniin seikkoihin kuten kulttuuriin, kieleen, oppimisen haasteisiin, oppijoiden ja opettajan väliseen vuorovaikutukseen tai muihin asioihin, jotka vaikuttavat kokemuksiin uudessa oppimisympäristössä. Sensitiivisyys on opettajalle tärkeä ammattitaito: oppijan aiemmat kokemukset ja erityispiirteet sekä niistä kumpuavat oppijoiden tarpeet on tärkeä ottaa huomioon jo opetuksen suunnittelussa.

Biologian opetuksessa koulun ulkopuoliset oppimisympäristöt ovat aina olleet olennainen osa opetusta ja oppimista, sillä biologia luonnontieteellisenä tieteenalana sisältää maastotutkimuksia (Eloranta ym., 2005; Kaasinen & Kervinen, 2023). Tämän vuoksi maastotutkimuksia on tärkeää harjoitella kouluopetuksessakin (vrt. alaluku 2.2). Lisäksi biologian oppitunneilla opittujen tietojen ja taitojen soveltaminen konkretisoituu usein luokkahuoneen ulkopuolella tai vierailuilla erilaisiin kohteisiin. Esimerkiksi rakentamisen tai muun ihmisen toiminnan vaikutusta elolliseen luontoon on helpompi ymmärtää, jos on tutustunut itselle tutun alueen lajistoon ja sen monimuotoisuutta uhkaaviin seikkoihin konkreettisesti paikan päällä tutkien. Myös suhde luonnossa liikkumiseen tai esimerkiksi luonnosta kerättävään ravintoon kehittyneen tiedon tasolta omaan elämään sovellettavaksi toiminnaksi helpommin omien luontokokemusten kautta kuin vain tietoa lukemalla.

## 8.2 Koulun ulkopuolinen opetus kiinnostuksen, motivaation ja luontosuhteen edistäjänä

Opetuksen motivoivuus ja kiinnostavuus ovat tärkeitä tavoitteita laadukkaalle opetukselle. Koulun ulkopuolisessa opetuksessa monet vierailukohteet herättävät kuitenkin tyypillisesti vain hetkellistä kiinnostusta (Neher-Asylbekov & Wagner, 2023). Oppijan tulisi kokea vierailu merkitykselliseksi (Krapp, 2007), jotta tällainen *tilannekohtainen kiinnostus* (situational interest) säilyisi ja muuttuisi *henkilökohtaiseksi kiinnostukseksi* (individual interest). Aiemmat positiiviset kokemukset luontoretkestä tai vierailuista esimerkiksi tiedekeskuksiin tai museoihin voivat voimistaa oppijoiden kiinnostusta ja uskoa omiin toimintakykyihin näissä oppimisympäristöissä (Lewalter ym., 2021; Remmele & Lindemann-Matthies, 2018).

Maasto-opetus lisää oppijoiden emotionaalista sitoutumista oppimiseen, mikä näkyy vahvistuneena oppimismotivaationa (Drissner ym., 2010; Fägerstam & Blom, 2012; James & Williams, 2017; Randler ym., 2005; Stokes & Boyle, 2009). Vahvan emotionaalisen sitoutumisen taustalla vaikuttaa olevan maasto-opetuksessa usein käytettävät kokemukselliset ja toimintalähtöiset työtavat (Edwards-Jones ym., 2018; Marchant ym., 2019). Opetuksen kokemuksellisuus ja oppijan oman aktiivisuuden korostaminen saattavat tukea myös koulutyöhön välinpitämättömästi suhtautuvien oppijoiden aktiivista osallistumista oppimiseen (James & Williams, 2017). Lisäksi luokkahuoneen ulkopuolisessa opis-

kelussa korostuvat myös erilaiset ryhmässä toimimisen taidot, ja maasto-opetusjaksoilla onkin havaittu olevan myönteisiä vaikutuksia sosiaalisten taitojen kehittymiseen (Braund & Reiss, 2006).

Viimeaikaiset tutkimukset avaavat laajemmin myös luonnossa liikkumisen terveys- ja hyvinvointihyötyjä. Luonnon hyvinvointivaikutukset ulottuvat niin fyysiseen, psyykkiseen kuin sosiaaliseenkin hyvinvointiin (Pasanen ym., 2018; Ratcliffe ym., 2021; Salonen, 2020; Tester-Jones ym., 2020). Suomalaisten mielipaikkoja tutkittaessa todettiin, että yli puolella vastanneista mielipaikka sijaitsee metsä- tai luontokohteella, ja yli 80 prosentin mielestä viheralueilla on suuri merkitys heidän asumisviihtyvyyteensä (Korpela, 2007; Korpela ym., 2009; Tyrväinen ym., 2008). Kun suomalaisten metsäsuhdetta kartoitettiin, vastaava osuus suomalaisista piti metsää heille henkilökohtaisesti tärkeänä tai melko tärkeänä ympäristönä (Pirttijärvi ym., 2018). Suomessa luonnossa liikkuminen ja ulkoilu ovatkin yleisiä harrastuksia (Neuvonen ym., 2022). Päivittäisen luonnossa liikkumisen tiedetään lisäävän etenkin stressaantuneiden henkilöiden hyvinvointia (Pasanen, 2020).

Luonnossa liikkumisen väitetään edistävän henkilökohtaisen luontosuhteen eli *luontoyhteyden* (nature connectedness) kehittymistä (Kellert, 2002; Schultz, 2002). Salosen (2020) mukaan myönteinen luontosuhde lisää myös yksilön kokonaisvaltaista hyvinvointia. On tärkeä ymmärtää, että luonnonympäristöjen ohessa myös kaupunkiympäristöissä voi olla elvyttäviä viherkohteita, kuten luontoalueita, puistoja, puutarhoja ja metsiköitä (Besson, 2020). Myös virtuaalisen luonnon on todettu vähentävän stressiä (Nukarinen ym., 2022; Ojala ym., 2019).

### 8.3 Maasto-opetuksen merkitys biologian oppimiselle

Jo aiemmin mainitulla biologian opetukseen sisältyvällä maasto-opetuksella on Suomessa ja muissa Pohjoismaissa pitkät perinteet (mm. Eloranta ym., 2005; Kaasinen & Kervinen, 2023; Poijarvi, 1989). *Maasto-opetuksella* (mm. field education, outdoor ecology education) viitataan useimmiten ulkona tapahtuvaan ekologiaan painottuvaan opetukseen (Eloranta ym., 2005). Maastossa opitaan biologian tietoja ja taitoja tiedonalalle luonteenomaisessa ympäristössä, jolloin opetus mahdollistaa opittavan aiheen, kuten lajiston, elinympäristöjen ja ympäristömuutosten suoran havainnollistamisen. Monet

tutkimukset ovat osoittaneet maasto-opetuksella olevan monia hyötyjä ulotuen oppisen tehostumisesta luontosuhteen kehittymiseen ja hyvinvointivaikutuksiin (Kaasinen & Myllyniemi, 2023). Tiivistetysti nämä hyödyt voidaan jaotella viiteen keskeiseen kategoriaan (vrt. Dillon ym., 2006; Kaasinen & Myllyniemi, 2023; Luehmann & Markowitz, 2007; Rennie ym., 2003; Rickinson ym., 2004; Tran, 2011):

1. Kognitiiviset ja keholliset taidot: havainnointi, aistiminen, luokittelu, tunnistaminen, nimeäminen, luonnossa liikkumisen taidot sekä kriittinen ajatteluntaito kehittyvät.
2. Kiinnostus ja motivaatio: todellisissa (autenttisissa) elinympäristöissä opiskelu, esimerkiksi pienimuotoisten tutkimusten tekeminen ja lajiston havainnoiminen on oppimisen kannalta innostavampaa ja usein tehokkaampaa kuin luokkahuoneessa.
3. Affektiiviset hyödyt: myönteiset tunteet, asenteet ja arvot suhteessa elolliseen luontoon kehittyvät luontoyhteyden kasvaessa.
4. Luonnon hyvinvointivaikutukset: myönteiset vaikutukset fyysiseen, sosiaaliseen ja psyykkiseen terveyteen.
5. Ympäristöhaasteiden ymmärtäminen: ymmärrys kestävästä kehityksestä, toiminnan ja vaikuttamisen merkityksestä lisääntyy.

Yleisin perustelu ulkona oppimisella biologiassa on, että ekologian ilmiöt, eliölajit ja niiden elinympäristöt ovat maastossa suoraan aistein havaittavissa ja tutkittavissa (Braund & Reiss, 2006). Esimerkiksi kasvien moniaistinen havainnointi niiden kasvupaikalla kannustaa myös monipuolisempaan ekologisten ilmiöiden tutkimiseen ja pohtimiseen, etenkin jos oppimistilannetta verrataan luokkahuoneessa toteutettavaan kasvien tutkimiseen tai oppimateriaalien kuvien tarkasteluun (Fägerstam & Blom, 2012). Ulkona tapahtuvan opiskelun onkin havaittu tukevan esimerkiksi käsitteiden oppimista paremmin kuin pelkkä luokkahuoneessa tapahtuva opiskelu (Ghent ym., 2014; Rios & Brewer, 2014). Koulun ulkopuolella aiemmin opitun tiedon hyödyntäminen tutunoloisissa ulkoympäristöissä onnistuu oppijoilta myös helpommin (Scott & Boyd, 2014).

Perusopetuksen opetussuunnitelmien perusteissa (OPH, 2014) edellytetään, että biologian opetuksessa käytetään myös tutkimuksellista opetusta ja oppimista: oppijoiden tulee toteuttaa pienimuotoisia tutkimuksia luokkahuoneen ulkopuolella lähiympäristössä. Maastossa toteutetussa tutkimuksellisessa työtavassa korostuvat opettajan rooli ohjaajana ja oppijoiden toiminta pienryhmissä (Kervinen ym., 2020a; Rozenszayn & Ben-Zvi Assaraf, 2011). Maasto-opetuksessa tapahtuva toiminnallinen ekologinen tutkimus poikkeaa rakenteeltaan laboratorioissa toteutettavasta kokeellisesta työstä ja sen koasetelman edellytyksistä, esimerkiksi kun tutkitaan käsittelyjen vaikutuksia tutkittavaan ilmiöön (Tal ym., 2019). Ulkona toteutettavassa pienimuotoisessa tutkimuksessa voidaan myös edetä kysymyksestä suoraan tutkimuksen tiedonkeruun vaiheeseen esimerkiksi havaintoja tekemällä (vrt. Kuvio 2.1, polku A).

## 8.4 Ulkona opettamisen merkitys kestäväen kehityksen näkökulmasta

Maasto- ja muu koulun ulkopuolella tapahtuva opetus voi auttaa oppijaa hahmottamaan paikallisia ja globaaleja ympäristöongelmia ja pohtimaan ratkaisuja ongelmiin (vrt. Luku 2). Ihmisten aiheuttamat ympäristöhaasteet, kuten ilmastonmuutos, elinympäristöjen pirstoutuminen ja luontokato, ovat pakottaneet pohtimaan miten voimmme elää maapallon kannalta nykyistä kestävämmällä tavalla, ja miten muutos kohti kestävyyttä saadaan aikaan (Sterling 2008; 2010-2011; Wolff, 2022b). Ympäristömuutokset ovat tutkijoiden mukaan ylittäneet “punaisen koodin” ja nyt on ratkaistava, miten haasteisiin voidaan vastata (Ripple ym., 2022). Eräs ratkaisumalli on UNESCO:n globaali toimintaohjelma Agenda 2030. Näiden tavoitteiden saavuttaminen vaatii puolestaan kestävyysmuutosta, mikä tarkoittaa esimerkiksi asumisen, energiantuotannon, liikenteen ja ruokaketjun järjestelmien sovittamista ympäristön kantokyvyn rajoihin (Kestävyyspaneeli, 2020; van Mierlo & Beers, 2020). Kestävyystä puhuttaessa käytetään usein myös termiä kestävyysmurros. Tämä tarkoittaa kaikkia yhteiskunnan toimia kestäväen kehityksen saavuttamiseksi. Kasvatusta ja opetusta pidetään keskeisenä tieteenalana kestävyysmurroksen toteuttamisessa (vrt. alaluku 2.4).

Kestävyyttä koskevia näkökulmia konkretisoi myös ns. Dasguptan selvitys, joka perustuu ekonomi Partha Dasguptan (2021) laatimaan raporttiin, jossa luontoarvot on yhdistetty talouteen (vrt. alaluku 2.3). Tämän raportin poh-



jalta eri maat ovat tehneet omia selvityksiään, Suomi muiden mukana (Pouta ym., 2023). Suomen Dasguptan selvitys esittelee kymmenen yhteiskunnallista muutosta, jotka tulisi tehdä, ettei luonnon toimintakyvyn romahtaminen vie pohjaa myös taloudelta. Kasvatus ja koulutus ovat muutoksessa keskeisiä, sillä peräti kaksi ehdotuksesta liittyy niihin: “koulutus ja luonnon monimuotoisuus - luonto-opetus pakolliseksi” ja “motivoitunut ja vaikuttava kansalainen - suomalaisten luontosuhteen vahvistaminen”.

Biologian opetuksessa varsinkin ekologisen ja sosiaalisen kestävyiden teemat ovat olennaisia (Uitto & Saloranta, 2017; Uitto ym., 2015). Ekologian sisältöjen ja taitojen osaaminen tukee kestävyyskasvatuksen kompetenssitavoitteiden toteuttamista (vrt. Luku 2). Luokkahuoneen ulkopuolinen opiskelu, erityisesti maasto-opetus, on tärkeä osa kestävyyskasvatusta, sillä se tukee sekä luonnon-tuntemusta että myönteisten ympäristöasenteiden kehittymistä (esim. Drisner ym., 2010; Jeronen ym., 2009). Kestävyyskasvatuksessa on jo aiemmin tiedostettu, että ihmisiä tulisi ohjata ajattelemaan laaja-alaisesti ja moniulotteisesti sekä ratkaisemaan kohdattuja haasteita transformatiivisen oppimisen keinoin (Mezirov, 2000; Sterling, 2010–2011; Wolff, 2022b). Toimijuuden, osallisuuden ja ratkaisukeskeisyyden sisältävä transformatiivinen oppiminen tukee sekä tieteellisen tiedon ja menetelmien ymmärtämistä ja soveltamista että sitoutumista kestävyyttä vahvistavaan toimintaan (Aikenhead, 2007; Sjöström & Eilks, 2018). Transformatiivinen eli uudistava oppiminen tarkoittaa, että oppimisessa siirrytään tiedon lisäämisestä tiedon kriittiseen pohdintaan, ja oppija pohtii ja työstää esimerkiksi omaa maailmankuvaansa ja ennakkokäsityksiään (mm. Aboytes & Barth, 2020; Arbeiter & Buéar, 2021). Kestävyyskasvatuksen yhtenä ajatuksena on, että ihminen voi muodostaa myönteisen suhteen ympäröivään luontoon myös ulkona tapahtuvan opetuksen keinoin (OPH, 2014, 2019; UNESCO, 2017). Tällainen suhde mahdollistaa ymmärryksen luonnon toiminnasta sekä halun suojella ja toimia luonnon parhaaksi (Jeronen ym., 2009). Ympäristöarvot ja -asenteet kehittyvät jo varhaisesta lapsuudesta lähtien, ja muokkaututtuaan ne jäävät usein pysyviksi (Braun & Dierkes, 2017). Tästä syystä lapsuuden luontokokemukset ovat merkityksellisiä myös sen suhteen, miten aikuisena suhtaudutaan luonnonympäristöjen käyttöön (Thompson ym., 2008).

## 8.5 Biodiversiteettikasvatusta ulkona

Luonnon monimuotoisuus on keskeinen kestävyyskasvatuksen aihe, jonka opettaminen koulun ulkopuolisissa ympäristöissä on luonteavaa. Monimuotoisuuden on todettu vähentyneen merkittävästi ihmisen vaikutuksesta, mikä on herättänyt ansaitusti huomiota. Huoli näkyy myös kielessä, jossa käytetään useita synonyymejä luonnon monimuotoisuudelle: elonkirjo, luonnonkirjo ja biodiversiteetti. Koska elollisen luonnon monimuotoisuus eli elinympäristöjen, ekosysteemien ja eliölajien runsaus tai lajien sisäinen perinnöllinen muuntelu ovat vähenemässä, tästä ilmiöstä käytetään puolestaan käsitettä luontokato. Luonnon monimuotoisuuteen ja luontokatoon keskittyvästä kasvatuksen suuntauksesta käytetään nimitystä biodiversiteettikasvatus (Bermudez & Lindemann-Matthies, 2020; Kaasinen & Aarnio-Linnanvuori, 2023; Navarro-Perez & Tidpall, 2012; Wolff, 2022a) (vrt. Taulukko 2.5a, b). Luonteeltaan biodiversiteettikasvatus on monialaista. Siihen liittyvät kiinteästi arvot, asenteet, eettisyys ja tunteet. Biodiversiteettikasvatuksen keskeisenä tavoitteena ovat ekologisen hyvinvoinnin, kestävyuden ja monimuotoisuuden ylläpitämiseen keskittyvien pohdintojen, oppimisen menetelmien, ajattelun taitojen ja vaikuttamisen ja toiminnan opettaminen ja oppiminen. Myös biodiversiteettikasvatuksen tavoitteena on transformatiivinen oppiminen.

Biodiversiteettikasvatuksessa oppijoita tuleekin kannustaa pohdintaan, keskusteluun ja kriittiseen reflektointiin. Oppijat voivat pohtia esimerkiksi eliöiden arvoa, uhanalaisuutta ja suojelun merkitystä (Lauro, 2012). Arvot, asenteet ja tunteet vaikuttavat myös siihen, mitä eliölajeja pidetään miellyttävänä ja mitä epämiellyttävänä (Avelo, 2023; Rose & van Dooren, 2011). Eri eliölajit voidaan kokea esimerkiksi kiinnostaviksi, inhottaviksi, vaarallisiksi tai merkityksettömiksi (Schönfelder & Bogner, 2017a, b). Tyypillistä on, että karvapeitteiset nisäkkäät koetaan miellyttävänä, kun taas muita eläinlajeja ja varsinkin kasveja pidetään merkityksettöminä, lähes elottomina olentoina (Lindeman-Matthies, 2011). Myös kielteisten omien tunteiden ja asenteiden kohtaaminen on tärkeää, sillä epämiellyttäväksikin koetut eliölajit, kuten rotat, voivat opetuksen aikana herättää oppijoissa kiinnostusta ja myönteisiä asenteita niitä kohtaan (Avelo, 2023; Kervinen *ym.*, 2024).

Biodiversiteettikasvatuksen keskeisenä ajatuksena on, ettei biodiversiteettiä tai sen vähenemistä voi täysin ymmärtää, jollei kykene havaitsemaan ja ymmärtämään omassa ympäristössä erilaisuutta, eliölajeja tai elinympäristöjä (Kaa-

sinen & Aarnio-Linnanvuori, 2023; Palmberg ym., 2018). Vähäiset luontokokemukset ja heikot lajintunnistustaidot voivat johtaa siihen, että ympäröivä elollinen luonto näyttäytyy tuntemattomana sekamelskana. Biodiversiteetin suojeleminen voi tuntua etäiseltä, jos lähiluonnonkin eliölajit koetaan merkityksettöminä tai kielteisinä. Tämän vuoksi ensimmäinen askel biodiversiteettikasvatuksessa voisi olla lajityksilöiden havaitseminen, havainnointitaitojen harjoittelu ja monimuotoisuuden hahmottaminen erilaisuutta hahmottamalla (Kaasinen, 2019; Kaasinen & Aarnio-Linnanvuori, 2023). Biodiversiteettikasvatuksen ajatellaankin toteutuvan parhaiten ulkona perinteisen luokkahuoneopetuksen ohella. Lindemann-Matthiesin (2011) mukaan lähiympäristössä toimiminen ja lajiston tutkiminen ovat olennaisia biologisen monimuotoisuuden oppimisessa, varsinkin kasvien osalta. Opetuksessa on tärkeää ottaa huomioon myös monimuotoisuuden arvostamisen ja suojelun näkökohdat.

## 8.6 Lajintunnistus osana biodiversiteettikasvatusta

*Lajintunnistus eli lajien tunnistaminen* (species identification) on luokittelun taito, joka sisältää eliön ja sen ominaistuntemerkkien havaitsemisen ja lajitason tunnistamisen (Palmberg ym., 2019) sekä lajin nimeämisen (Kaasinen, 2009). Sen ajatellaan olleen elintärkeä taito ihmisen henkiinjäämiselle; hänen on täytynyt osata etsiä, havaita ja tunnistaa syötäväksi kelpaavia tai myrkyllisiä sekä lääkkeeksi tai rakennusmateriaaliksi soveltuvia lajeja (Kaasinen, 2016). Nykyisinkin ihmiskunta tarvitsee tietoa eliölajeista sekä niiden hyödyntämisen että myös lajien tulevaisuus- ja itseisarvon näkökulmasta. Samalla ratkaistavina ovat globaalit ympäristöongelmat, kuten biodiversiteettikato, jonka ratkaisemiseen tarvitaan lajiston tuntemiseen liittyvää asiantuntemusta. Lajintuntemus laajentaa lajintunnuksen käsitettä liittämällä siihen myös ekologisen ulottuvuuden eli ymmärryksen lajien elinympäristöistä, elintavoista ja vuorovaikutuksesta muiden lajien ja elottoman luonnon kanssa (Skarstein & Skarstein, 2020). Lajintuntemuksen voidaan katsoa olevan oleellinen osa biodiversiteettikasvatusta.

Lajintunnistusprosessissa ihminen tekee havaintoja itsestään ja ympäristöstään jatkuvasti aistiensa avulla. Suuri osa aistihavainnoista ei etene ajattelun prosesseissa (vrt. Kaasinen, 2009) vaan enemmänkin kokemuseräisen ja *tiedostamattoman muistin kautta* (implisiittinen muisti, Stolpe & Björklund, 2013). Osa havainnoista kuitenkin luokitellaan vertailemalla niitä aiemmin

havaittuihin kohteisiin joko tiedostetusti tai tiedostamatta, ja samalla myös muistamisen prosessit käynnistyvät (Anderson, 2005; Palmer, 1999; Thompson, 2003). Tästä on esimerkkinä seuraava kuvitteellinen tilanne. Keväällä ulkona liikkuva henkilö ohittaa tien reunaan ilmestyneen kasvin. Talven jälkeen ensimmäinen kukkiva kasvi herättää hänen huomionsa. Kulkija havaitsee, että kasvilla on keltainen kukka, joka erottuu selkeästi muuten vielä värittömästä ympäristöstä. Hänestä saattaa tuntua, että keltainen kukkiva kasvi on tutun näköinen ja hänen mieleensä voi palautua vaikkapa lapsuuden leikki, jossa näitä kukkia on kerätty. Muistiin voi tulla myös kukan tuoksu tai äidin varoitteletut kasvin vaatteita värjäävästä nesteestä. Kulkija siis tunnistaa kasvin. Tilanteen ajatellaan osoittavan, että henkilö muistaa kasvin implisiittisesti (vrt. Stolpe & Björklund, 2013). Lopulta henkilö ehkä muistaa kasvin nimenkin – kysessä on voikukka. Jos henkilöllä on enemmän tietoa, hän saattaa muistaa myös eliölajin tieteellisen nimen (*Taraxacum officinale*), ja että voikukkia tai niiden alalajeja on Suomessa satoja. Edellä kuvattu erityisten yksityiskohtien ja termien muistaminen on esimerkki *eksplisiittisestä* muistamisesta, joka perustuu asioiden tietoiseen oppimiseen ja mieleen palauttamiseen (Stolpe & Brjörklund, 2013).

Prosessikulku on samankaltainen mitä tahansa lajeja tunnistettaessa. Lajintunnistusprosessin aikana havainnot kohdistuvat mahdollisesti myös eliön elinympäristöön ja ekosysteemiin, sillä nekin ovat tarpeellisia tietoja eliölajien tunnistamisessa (Yli-Panula & Pollari, 2013). Ympäristö tulee luonnostaan huomion kohteeksi tunnistusprosessissa. Lajien tunnistamisessa ymmärrys luonnon toiminnasta laajenee. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että lajit ymmärretään osana paikallista elinympäristöä tai alueellista ekosysteemiä, tai että *lajitietämys* (species awareness) lisääntyy ja samalla *lajitieto* (species knowledge) karttuu. Toistaiseksi lajitiedolle ei ole yhtä yhtenäistä määritelmää. Useimmat tutkijoista ymmärtävät sen lajien tunnistamisena ja oikeana nimeämisenä (Gerl ym., 2018; Randler 2008a). Viimeisimmissä tutkimuksissa lajitieto-käsitteen ajatellaan sisältävän lajien tunnistamisen lisäksi myös syvällisempää tietoa niiden ekologiasta, levinneisyydestä ja systematiikasta (Sturm ym., 2020). Hooykaas ym. (2019) puolestaan loivat käsitteen lajilukutaito erottaakseen tunnistustaidot syvällisemmästä lajitiedosta.

Oppimisprosessia edistää, jos havainnointitaitoja harjoitellaan ensin rauhallisesti, monilla eri harjoituksilla ja moniaistisesti. Moniaistisuuden kehittäminen on olennaista luonnon monimuotoisuuden havaitsemisessa (Auer, 2008;

Franco ym., 2017; Kaasinen, 2020; Kaasinen & Myllyniemi, 2023; Nupponen ym., 2023). Vaikka visuaaliset kokemukset ovat hallitsevia luontokokemuksissa, myös muilla aisteilla on suuri merkitys (Franco ym., 2017). Auerin (2008) mukaan luonnon koskettaminen, haistaminen, maistaminen, kuuleminen ja näkeminen ovat lapsille luontaisia tapoja tutustua luonnonympäristöön. Tällöin on tietenkin oleellista ottaa huomioon turvallisuusnäkökohdat, ja opastaa oppijoita vain tuntemiensa kasvien tai sienien maistamiseen. Aistit ovat myös keinoja murtaa dualistisia käsityksiä ihmisistä ja luonnosta (Auer, 2008). Aisteihin liittyviä aktiviteetteja (Taulukko 8.1) voidaan luoda tutkimusperustaisesti ja hyödyntää valmiita materiaaleja.

Lajintunnistustaitoja voi ulkona harjoitella helposti kasvien avulla. Kasvit pysyvät paikallaan ja niitä löytyy kaikkialta myös talvella. Kasvien havainnoinnissa on mahdollista käyttää eri aisteja laajasti (Taulukko 8.1). Havainnointitehtävät sopivat kaikenikäisille ja myös heille, joilla ei välttämättä ole kovin laajaa sanavarastoa. Samalla harjaantuu myös aisteihin liittyvä sanavarasto.

*Taulukko 8.1. Käytännön esimerkkejä aistien käytöstä lajintunnistuksen harjoittelussa.*

<i>Aisti</i>	<i>Tehtävä oppijoille</i>	<i>Välineet ja materiaalit</i>
Näköaisti	Ota väriympyrä ja etsi lähialueelta mahdollisimman monta värisävyä. Löydätkö kaikki?	Väriympyrä, väriliuska tai sateenkaari.
Tuntoaisti	Etsi tuntosanalistan avulla eri tuntuja asioita tunnustelemalla lähiympäristöäsi.	Tuntosanoja sisältävä sanalista.
Kuuloaisti	Etsi rauhallinen paikka ja kuuntele. Millaisia ääniä kuulet? Voit piirtää tarvittaessa ääntä.	Äänipiirtelyyn tarvittava paperi ja kynä.
Hajuaisti	Ota purkki tai pussi ja kerää siihen pieniä kasvin osia. Murustele ja sekoita. Millaisen tuoksun saat aikaiseksi?	Filmipurkki, pääsiäismunahylsy tai suljettava muovipussi.
Makuaisti	Jos tunnistat varmasti kasvin syötäväksi, maistele siitä pieniä paloja.	Mustikan lehti tai kukka, voikukka, ketunleipä tai kuusen neulanen.

Kun oppija on harjoitellut havainnointitaitoja, voidaan vähitellen lisätä kohteen tieteellistä tarkastelutapaa. Kasvien kohdalla tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että tutkitaan tarkemmin kasvin kasvupaikkaa, kasvin rakennetta, kasvutapaa ja kokoa, kasvin vartta tai runkoa, lehtiä (muoto, koko, sijainti), kukkaa tai kukintoa (väri, muoto, koko, sijainti, terälehtien rakenne) tai itiökasvin itiötähkää. Tämä harjaannuttaa erilaisuuden ja moninaisuuden hahmottamista sekä mahdollistaa lajin tunnistamisen. Samalla voidaan pohtia myös sitä, miksi kasvi on juuri tietynlainen ja mitkä ovat sen sopeumat, esimerkiksi miksi puolukalla on vahapintaiset lehdet. Ulkona havainnointiin tulee uusi ulottuvuus, kun oppijat voivat tarkastella kohteita luupeilla tai suurennuslaseilla.

Vähitellen opitaan myös kasvitieteellistä sanastoa ja laajempaa tietoa paitsi kasveista, muistakin eliölajeista, elinympäristöistä ja ekosysteemeistä. Näin elollinen luonto ei ole oppijalle enää ”vihreää kaaosta”, vaan sen monet ominaisuudet paljastuvat vähän kerrassaan. Samalla ihmettelijässä voi herätä halu tietää tarkemmin, mistä lajista mahtaa olla kyse ja mikä on sen nimi. Nimiä tarvitaan kommunikointiin, eikä havaittua lajia tarvitse kutsua vain ”eliöksi”. On myös hyvä ymmärtää, että joskus tarkka lajinmäärittäminen on mahdotonta, puhuttiinpa mistä eliölajiryhmästä tahansa. Tietylle taksonomiselle tasolle tarkentuva määrittäminen useimmiten riittää (Eloranta ym., 2005). Esimerkiksi kasveja luokitellaan usein heimon (esimerkiksi hernekasvit) tai suvun (apilat) perusteella. Alkuopetuksessa riittää, että tunnistaa ja osaa nimetä esimerkiksi puun koivuksi (suku). Ylemmillä luokka-asteilla olisi hyvä oppia jo erottamaan samaa sukuun kuuluvia tavallisimpia lajeja, esimerkiksi hies- ja rauduskoivu toisistaan. Yleisinä kasvavien pajujen (*Salix*-suku) kohdalla tällainenkaan luokittelu ei ole usein mahdollista ilman tarkkaa tietoa pajulajien moninaisuuksista. Tällöin on riittävää, että osaa tunnistaa ja nimetä kasvit pajuiksi.

Havainnoinnin avulla käsitys luonnon lajikirjosta syvenee samoin kuin ymmärrys siitä, että ihminen on yksi eliölaji muiden joukossa ja riippuvainen muusta luonnosta. Tietoisuuden, ymmärryksen ja arvostuksen myötä voi herätä halu toimia luonnon monimuotoisuuden säilyttämisen puolesta. Vanha sanonta ”sen minkä tunnet, siitä haluat pitää huolta” pätee tänäkin päivänä. Haasteita aiheuttaa se, että tutkimusten mukaan ihmisten kyky tunnistaa eliölajistoa on heikkoa (Kaasinen, 2019; Palmberg ym., 2018). Kasvien kohdalla ilmiöstä käytetään nimitystä *kasvisokeus* (plant blindness: mm. Amprazis & Papadopoulou, 2020; Wandersee & Schussler, 1999). Kasvisokeudella tarkoitetaan muun muassa, että

- a) ihmisillä ei ole kykyä kiinnittää huomiota ympäristön kasveihin jokapäiväisessä elämässään,
- b) ajatusmallia, jossa kasveja pidetään vain eläinten elämän mahdollistajina ja että eläimet ovat kasveja tärkeämpiä,
- c) väärinymmärrystä kasvien elinvaatimuksista,
- d) ymmärryksen puutetta kasvien merkityksestä ekosysteemien toiminnassa,
- e) kokemusten puutetta kasvien kasvattamisesta, havainnoinnista ja tunnistamisesta ja
- f) perustietojen puutetta kasvien biologiasta, esimerkiksi kasvien lisääntymisestä (Wandersee & Schussler, 1999).

Kasvisokeudella on vakavia vaikutuksia esimerkiksi kasvillisuuden suojeluun (Balding & Williams, 2016), joka luontokadon aikana on merkityksellistä. NykYTEKNOLOGIA kuitenkin mahdollistaa helpon tavan vähentää kasvisokeutta. Määrittyskirjallisuuden lisäksi nykyisin lajintunnistuksen apuna voi käyttää älylaitteelle ladattavia tunnistussovelluksia (esimerkiksi iNaturalist tai Seek; kts. Kontkanen ym., 2016; Nugent, 2018). Sovelluksia on tarjolla eri lajiryhmien tunnistamiseen. Osa toimii tekoälyllä kuva- tai äänitunnistuksen kautta, osa pohjautuu siihen, että sovellusta käyttävä yhteisö auttaa tunnistamisessa, ja osa tunnistussovelluksista käyttää molempia menetelmiä. Erilaisia tunnistussovelluksia kannattaa kokeilla ja valita itselle sopivin. Jos lajia ei tunnista eikä sille löydy nimeä, myös havaintojen tekeminen, ihmettely ja ihastelu on sinällään arvokasta.

## 8.7 Maasto-opetuksen suunnittelun ja toteutuksen haasteita ja ratkaisuja

Maasto-opetuksen toteuttamisen paikasta puhuttaessa tarkoitetaan yleensä koulun pihaa tai lähialuetta tai kauempana sijaitsevaa rakennettua tai luonnonympäristöä (Eloranta ym., 2005). Maasto-opetus järjestetään usein esimerkiksi koulun lähimetsässä, vesistön äärellä, suolla, lintutornilla tai vastaavassa

paikassa luonnollisena jatkumona oppitunnilla käsiteltäviin aiheisiin konkretisoimaan, laajentamaan tai syventämään oppimista.

Maasto-opetuksen järjestäminen alkaa yleensä opettajan valinnasta toteuttaa jonkin aiheen opiskelu osin tai kokonaan ulkona. Opettajien uskomukset ja omat näkemykset vaikuttavatkin merkittävästi sekä heidän halunsa järjestää maasto-opetusta että maasto-opetuksen onnistumiseen (Glackin, 2016; Kervinen ym., 2020c). Norjalaiset ja ruotsalaiset opettajat perustelivat maasto-opetuksensa toteuttamista konkreettisten luontokokemusten tarjoamisella oppijoille, luonnossa liikkumisen valmiuksien kehittämällä sekä kognitiivisilla holistisilla oppimistavoitteilla (Wilhelmsson ym., 2012; Winje & Løndal, 2021). Myös opettajan oma luontosuhde vaikuttaa siihen, miten monipuolisesti hän käyttää erilaisia oppimisympäristöjä (Barrable & Lakin, 2020).

Osa opettajista kokee maasto-opetuksen haasteellisena, vaikka luokkahuoneen ulkopuoliselle opetukselle on lukuisia puoltavia syitä. Maasto-opetuksen määrän on tulkittu vähentyneen viime vuosikymmeninä esimerkiksi Iso-Britanniassa (Lloyd ym., 2012; Lock, 2010). Opettajiin ja opettajaksi opiskelevien käsityksiin kohdistuneissa tutkimuksissa on kartoitettu syitä olla toteuttamatta maasto-opetusta. Monet syyt liittyvät siihen, että koulun toimintakulttuurissa, ajankäytössä tai arvioinnissa ei aina tunnisteta ulkona opiskelun hyötyjä (Hovardas, 2016; Scott ym., 2015). Tutkimusten perusteella myös opettajien kokemus oman osaamisen ja itseluottamuksen puute estää luokkahuoneen ulkopuolisen opetuksen järjestämistä (Bentsen ym., 2010; Scott ym., 2015). Eriytisesti opettajat vaikuttavat pelkäävän ryhmänhallinnan haasteita, riittävän kontrollin menettämistä ja lisääntyviä riskejä (Connolly & Houghton, 2015; Glackin, 2017). Onkin havaittu, että opettajat pyrkivät järjestämään luokkahuoneen ulkopuolella samanlaisia vuorovaikutustilanteita kuin luokassakin esimerkiksi kokoamalla opiskelijat piiriin opetuskeskustelua varten ja johtamalla keskustelua (DeWitt & Hohenstein, 2010; Lavie Alon & Tal, 2017; Rajala & Akkerman, 2019; Zhai & Dillon, 2014).

Koulun ulkopuoliset ympäristöt tarjoavat kuitenkin monenlaisia hyviä mahdollisuuksia keskustelemaan vuorovaikutukseen opiskelijoiden ja opettajan kesken (DeWitt & Hohenstein, 2010). Tutkimuksissa on saatu viitteitä, että opiskelijoiden autonomiaa ja itsenäistä toimintaa tukeva opettajan toiminta motivoi opiskelijoita koulun ulkopuolisessa työskentelyssä parhaiten (Basten ym., 2014; Kervinen ym., 2020a; Tal ym., 2014). Osa luokkahuoneen ulkopuo-



lisen opiskelun hyödyistä voi jopa johtua siitä, että opiskelu ei ole yhtä muodollista kuin luokassa vaan poikkeaa koulun perinteisistä opiskelutavoista (Rea, 2008). Suomalaistutkimuksessa havaittiin, että ulkona opiskelu ja opettajan läsnäolon väheneminen mahdollistivat oppijoille tärkeiden arkikokemusten hyödyntämisen opiskelun aikana (Kervinen ym., 2020b).

Opettaja ja oppijat ovat tottuneet toimimaan luokkahuoneessa tietyillä vakiintuneilla toimintatavoilla, jotka tekevät oppituntien vuorovaikutuksesta ennustettavaa. Tyypillisesti opettajan jakaa puheenvuoroja ja kommentoi oppijoiden vastauksia koko luokan keskusteluissa tai kiertelee luokkahuoneessa tukien opiskelijaryhmien työskentelyä (Hiltunen, 2022). Luokkahuoneen ulkopuolella olosuhteet kannustavat ja ohjaavat usein erilaiseen vuorovaikutukseen. Esimerkiksi koulun pihalla tai monissa vierailukohteissa liikkuminen on vapaampaa kuin luokkahuoneessa, jolloin ihmisten väliset etäisyydet voivat kasvaa ja yhteiset keskustelut vaikeutua. Tällöin opettajan kannattaa pyrkiä hyödyntämään oppijoiden vapaampaa vuorovaikutusta ja itsenäisempää liikkumista osana opetustapahtumaa (Kervinen ym., 2020c; Lavie Alon & Tal, 2017).

Maasto-opetuksessa kokeneet opettajat korostivat oppijoiden totuttamista maasto-opetuksen vähitellen (Kervinen ym., 2020c). Yksittäiset retket koulun lähimaastoon voivat tuntua oppijasta aluksi hauskalta vaihtelulta tavanomaiseen koulutyöhön, jolloin keskittyminen opiskeluun saattaa joidenkin osalta jäädä toisarvoiseksi. Jos maasto-opetuksesta halutaan tehdä keskeinen osa ekologiaan painottuvia biologian kursseja, on tärkeää osoittaa oppijoille niiden olevan osa tavanomaista opiskelua (Kervinen ym., 2020c). Opettajan on mahdollista perustella vierailut ja maasto-opetus opetussuunnitelmien avulla niin opiskelijoille, kouluyhteisölle kuin oppijoiden huoltajillekin. Suomessa perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelmien perusteet edellyttävät monipuolisten oppimisympäristöjen ja koulun lähiympäristön hyödyntämistä (OPH 2014, 2019).

Toimivien ulkona opiskelun rutiinien muodostumiseksi maasto-opetuksen säännöllisyys on tärkeää. Opetus kannattaa aloittaa pienistä tehtävistä esimerkiksi koulun pihalla. Oppijoille tutussa ympäristössä toimiminen auttaa ryhmän hallintaa ja parhaimmillaan kohdentaa opiskelua, kun taas täysin uusi ympäristö saattaa viedä huomion epäolennaisiin seikkoihin (Randler, 2008b). Tottumisen ja luottamuksen lisääntyessä oppijoille voi antaa enemmän vastuuta erilaisten tehtävien tekemisessä koulun lähiympäristössä tai vierailuilla

kauemmas. Turvallisuus ja olosuhteet huomioon ottaen kannattaa antaa mahdollisuuksia myös itsenäiseen työskentelyyn ja liikkumiseen (ks. Eloranta ym., 2005). Opettajan jatkuvan fyysisen läsnäolon korvaaminen esimerkiksi digitaalisella viestinnällä voi mahdollistaa oppijoille tärkeitä omistajuuden ja toimijuuden kokemuksia opiskelun aikana (Kervinen ym., 2020a). Oppijat, joilla on vaikeuksia keskittyä luokkatilanteissa saattavat yllättää taidoillaan toimia ulkoympäristöissä.

Kolmas keino saada oppijat sitoutumaan ulkona opiskeluun ja vierailuihin liittyy arviointiin. Kun luokkahuoneen ulkopuolella opiskellaan opetussuunnitelman mukaisia sisältöjä ja taitoja, oppimisen arviointi voidaan myös suunnitella tukemaan ja mittaamaan ulkona opiskeltavia asioita. Tällöin arvioinnin opiskelua ohjaava ja motivoiva formatiivinen merkitys korostuu. Kun retkien yhteyteen lisätään pieniä arvioitavia tehtäviä, opiskelijat oppivat arvostamaan luokkahuoneen ulkopuolella tapahtuvaa opiskelua osaamisen näyttämisen mahdollisuutena siinä missä luokkahuoneopiskeluakin (Kervinen ym., 2020c). Maastossa kannattaa kuitenkin jättää aikaa ja mahdollisuuksia myös luonnossa olemisesta nauttimiselle ilman arvioinnin painetta. Opittuja taitoja ja tietoa voi arvioida myös summatiivisesti vierailujen jälkeen.

Kuten aiemmin mainittiin, tärkein maasto-opetuksen lähtökohta on päätös ottaa maasto-opetus säännölliseksi osaksi opetusta. Mitä useammin ja säännöllisemmin maastossa käydään, sitä helpommaksi ja tutummaksi se tulee opettajalle ja oppijoille. Tärkein asia kuitenkin lienee asennoituminen ulkona tapahtuvaan opetukseen. Suomessa on laajat jokamiehenoikeudet, jotka mahdollistavat liikkumisen ja toiminnan ulkona luonnossa. Ohjeita maasto-opetuksen suunnitteluun ja toteuttamiseen on opettajankoulutusmateriaaleissa (Eloranta ym., 2005; Kaasinen, 2016a, b; Kaasinen & Myllyniemi, 2023; Lappalainen, 2003; Poijärvi, 1989; Uitto ym., n.d.) sekä kouluopetuksen opetusmateriaaleissa (keskeisimpiä ohjeita esitellään taulukossa 8.2). On tärkeää huomata, että myös talvi on ulko-opetukseen erinomaisesti soveltuvaa ajanjakso (Kaasinen & Kervinen, 2019). Ulkona toteutettavia tehtäviä on myös esimerkiksi Suomen luonto- ja ympäristökoulujen liitto ry:n ylläpitämässä Mappa-verkopalvelussa (Mappa, n.d.), johon on koottu mittava määrä maasto-opetukseen soveltuvaa opetusmateriaalia. Lisäksi opettajat voivat tallentaa palveluun omaan opetukseen sopivia opetuskokonaisuuksia. Myös omien materiaalien jakaminen on palvelun avulla mahdollista.

Maasto-opetus, kuten mikä tahansa muukin opetus, alkaa turvallisuuden huomioon ottamisesta sekä tavoitteista ja opetuksen sisällön ja käytettävien opetusmenetelmien valinnasta (Anttalainen & Tulivuori, 2011). Luokkatilaa verrattuna maastossa on kuitenkin erityispiirteensä. Maastokohteeseen siirtymiseen tulee varata aikaa. Säätila on otettava huomioon ja oppijoiden vanhemmille tulee tiedottaa maasto-opetuksesta etukäteen. Likaa ja kosteutta kestävätkä sekä lämpöä ylläpitävät varusteet ovat tärkeitä, jotta oppimiskokemus ulkona on miellyttävä ja turvallinen.

*Taulukko 8.2. Muistilista maasto-opetuksen suunnittelun ja toteutuksen tueksi (muokattu Kaasinen, 2016a, b).*

<i>Huomioitavat asiat</i>	<i>Kysymykseen vastaaminen</i>	<i>Tarkennus</i>
Turvallisuus	Onko ulos turvallista lähteä?	Ota huomioon tapaturmamahdollisuudet, sairaudet, lääkitykset, nesteytys, ravitseminen sekä eksyminen. Varmista vakuutukset, kännykän virta ja kertaa hätänumeroon soittamisen ohjeet oppijoiden kanssa.
Tiedottaminen	Oletko tiedottanut maasto-opetuksesta?	Tarvittaessa tiedotetaan oppijoita, muita opettajia, koulun johtoa sekä huoltajia.
Opetuksen ja oppimisen tavoite ja sisältö	Mitä on tarkoitus oppia ja harjoitella?	Pohdi etukäteen, mitä lisäarvoa ulkona opettaminen tuo sisältöjen oppimiseen.
Ajankäyttö	Paljonko opetukselle on aikaa ja paljonko aikaa kuluu siirtymiin?	Ota huomioon, että siirtymiin saattaa kulua paljon aikaa. Pohdi, voisiko siirtymiin yhdistää tehtäviä.
Opetusmenetelmät	Miten opittava asia on tarkoitus opettaa?	Pohdi, mitkä opetusmenetelmät soveltuivat parhaiten ja vaihtele erilaisia menetelmiä. Ota huomioon, että sanallisten ohjeiden antaminen ulkona voi olla haasteellisempaa. Suosi demonstrointia, kirjallisia tai kuvallisia ohjeita.
Eriyttäminen	Miten mahdollistaa erilaisille oppijoille oppimisen?	Pohdi, miten voit eriyttää opetusta.

Samaa maasto-opetuksen tehtävää voi soveltaa ja muunnella oppijoiden iän ja käytettävissä olevan ajan mukaan. Esimerkkinä tästä on vesieliöihin liittyvä tutkimuksellinen tehtävä sekä siihen liittyvät syventämismahdollisuudet (Taulukko 8.3). Tutkimuksellinen tehtävä on luotu ja testattu Helsingin yliopiston luokan- ja aineenopettajien biologian didaktiikan kursseilla, käyttäen apuna myös julkaistuja biologian didaktiikan ja ulko-opetuksen oppaita (mm. Eloranta ym., 2005; Kaasinen & Myllyniemi, 2023; Lappalainen, 2003; Uitto ym., n.d.) sekä perusopetuksen ympäristöopin ja biologian opetusmateriaaleja. Samaa maasto-opetuksen tehtävää voi soveltaa ja muunnella oppijoiden iän ja käytettävissä olevan ajan mukaan. Vesieliöihin liittyvä tutkimuksellinen tehtävä sekä siihen liittyvät syventämismahdollisuudet (Taulukko 8.3) ovat esimerkkinä soveltamisesta. Samankaltaisessa tehtävässä korostuvat eri-ikäisillä oppijoilla eri asiat. Varhaiskasvatuksessa keskitytään vesiympäristön, veden ja sieltä löytyvien eliöiden ihmettelyyn ja havainnointiin. Eliöiden nimistä ja tuntomerkeistä voidaan puhua ihmettelyn lomassa. Vanhempia oppijoita voidaan ohjata esimerkiksi vertailemaan eliöitä ja pohtimaan niiden sopeutumista elinympäristöönsä. Lukiolaisia voi ohjata kehittelemään kahden tai useamman elinympäristön vertailua koskevan tutkimusasetelman ja tutki- maan vesiympäristöä monipuolisin menetelmin. Jos aikaa on, voidaan tehdä esimerkiksi seurantatutkimusta eri vuodenaikoina tai syventää aihetta teke- mällä erilaisia vierailuja tai kutsumalla vierailijoita koululle.

Oleellista maasto-opetuksessa kaikissa tapauksissa on tehtävistä, toiminta- tavoista ja ryhmistä sopiminen oppijoiden kanssa jo ennen maasto-opetusta. Maasto-opetus on usein osa laajempaa opetusjakson kokonaisuutta (Coll ym., 2018; Eloranta ym., 2005), jolloin se koostuu edeltävästä opetuksesta, varsinaisesta maasto-opetuksesta sekä sen jälkeen toteutettavasta opetuksesta koulussa. Usein maasto-opetuksen jälkeen kerättyjä havaintoja tai näytteitä tutkitaan edelleen ja kokonaisuudesta tehtyjä raportteja ja esityksiä arvioidaan koulussa yhdessä muiden kanssa. Maasto-opetuksessa voidaan toteuttaa tutkimus- lista opetusta tai projektioppimista (vrt. Luvut 2 ja 7). Yhteistoiminnallisuus ja vuorovaikutteisuus ovat maasto-opetuksessa oleellisia (Eloranta ym., 2005; Kervinen ym., 2020a).

*Taulukko 8.3. Vesitutkimuksiin liittyviä esimerkkejä (vrt. Eloranta ym., 2005; Kaasinen & Myllyniemi, 2023; Lappalainen, 2003). Tehtäviä voi eriyttää ja muokata eri ikäisille oppijoille sopiviksi.*

---

*Vesiselkärangattomien tutkiminen esimerkkinä maasto-opetuksesta*

---

Tutkimisen oppimistavoitteet	Lähiympäristön havainnointi; tutkiminen välineillä; eliöiden tarkkailu, vertailu ja luokittelu; tutkimusprosessin harjoittelu; eliöiden rakenteiden tutkiminen ja sopeumien pohdinta; vesielinympäristöjen tutkiminen ja vertailu
Esimerkki oppitunnin rakenteesta	<p>Vesiselkärangattomien tutkimus:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Turvallisuusohjeiden tarkastelu, välineiden tarkastus.</li> <li>2. Siirtyminen vesistön äärelle.</li> <li>3. Mahdollisesti ryhmiin jako ja työohjeiden antaminen, maasto-opetuksen tehtävistä ja toimintatavoista sovitaan jo ennen retkeä.</li> <li>4. Vesiselkärangattomien kerääminen ja vesinäytteiden ottaminen esimerkiksi siivilän, kauhan ja ämpärin avulla.</li> <li>5. Näytteiden tutkiminen silmin tai mahdollisesti luupin avulla.</li> <li>6. Näytteiden vertailu ja luokittelu esimerkiksi määrityskaavion, -kirjallisuuden tai nettisovelluksen avulla.</li> <li>7. Vesielinympäristöön sopeutumisen pohtimista.</li> </ol>
Vesitutkimuksen välineitä	Keittiösiivilä, pohjaeläinhaavi, planktonhaavi, kauha, vaaleapohjainen astia, ämpäri, luuppi, määrityskaavio ja/tai -kirjallisuus, omat matkapuhelimet.
Tehtäviä luokassa	Näytteiden tutkiminen luokassa esimerkiksi mikroskoopilla; vesiviljelyiden tekeminen; akvaarion perustaminen ja hoitaminen; vesikasvien kasvattaminen; videoiden katsominen; kirjalliset tai kuvalliset tuotokset kuten analyysien tekeminen tai tutkimusraportin viimeistely.

---

Lisäksi vesitutkimusaihetta voi syventää esimerkiksi vierailulla (kuten jätevedenpuhdistamo, kalankasvattamo, virvoitusjuomatehdas, vesientutkimuslaitos, vesistöjen suojelemiseen keskittyvät yritykset tai yhteisöt, kalastajat) tai tekemällä seuraavanlaisia tehtäviä:

1. Eläin- ja kasviplanktonlajien tutkiminen mikroskoopin avulla.
2. Veden fysikaalisten ominaisuuksien tutkiminen, kuten veden väri, haju, happamuus, lämpötila, kirkkaus, ravinnepitoisuus ja virtaus.
3. Vertaileva tutkimusasetelma eri vesistöjen välillä.
4. Valuma-alue tutkimus ja veden kiertokulku.
5. Pohjavesitutkimus.
6. Vedensuodatustutkimus.
7. Pullovesitutkimus.
8. Veden suojeluun liittyvät vaikuttamisprojektit.

Maasto-opetusta voi toteuttaa yksinkertaisinkin opetusvälinein. Kouluun voi myös itse valmistaa näytteenottovälineitä, kuten haaveja (perhoshaavi tai lyöntihaavi), tai siivilöitä veden tai maaperän tutkimiseen. Tavallisia opetusvälineitä maastossa ovat luupit, kiikarit, pipetit, pinsetit, kartat, kompassit sekä erilaiset mittarit, kuten lämpötila- happamuus tai desibelimittari (Anttalainen & Tulivuori, 2011). Näytteiden keräämistä varten tarvitaan muovipusseja ja purkkeja. Välineistöä kannattaa lisätä vähitellen sitä mukaa, kun ulkona opetetaan uusia asioita.

## 8.8 Retket ja vierailut koulun ulkopuolelle opetussuunnitelmissa

Viime vuosina on käyty runsaasti julkista keskustelua retkien järjestämisestä, niiden turvallisuudesta ja etenkin retkien aiheuttamista kustannuksista. On jopa ajateltu, että retkiä ei kannata järjestää tai retkien tarkoitusta ja niiden pedagogista merkitystä on vähätelty. Vierailujen järjestämisestä ovat puoltaneet paitsi tutkimus (Braun & Dierkes, 2017; Rickinson ym., 2004; Salmi, 2023; Zhai, 2015), myös Opetushallituksen laatimat käytännön ohjeistukset (esim. OPH, n.d.). Ohjeistuksen perusajatuksena on ollut selkeyttää, millainen toiminta luokitellaan opetussuunnitelmaan kuuluvaksi. Nykyisen ohjeistuksen mukaan kaikki koulun työaikana toteutetut ja vuotuisen suunnitelmaan kirjatut retket, vierailut ja muu vastaava koulun ulkopuolella tapahtuva toiminta on opetusta ja yhdenvertaista koulun toimintaa muun opetuksen kanssa (OPH, n.d., vrt. Bronkhorst & Akkerman, 2016).

Opetuksen järjestäjän eli yleensä kunnan tulee laatia perusopetusta varten opetussuunnitelma ja siihen perustuva vuotuinen suunnitelma, jossa määritellään paitsi opetustunnit ja työajat myös koulun ulkopuolella annettava opetus (esim. Opetusalan Ammattijärjestö [OAJ], n.d.). Retket täytyy merkitä etukäteen koulun vuosisuunnitelmaan. Tällöin ne ovat opettajalle virkamattoja, joista maksetaan opettajalle korvaukset, kuten matkakustannukset ja päiväraha.

Haasteita retkien järjestämiseen on tuonut perusopetuksen maksuttomuus, sillä monien retkien toteutumiseen tarvitaan matka- ja pääsylippurahaa. Koska koulupäivän aikana järjestetyt retket ovat yhdenvertaisia muun koulun opetuksen kanssa, niiden tulee siten olla oppijalle maksuttomia. Maksuttomuutta määrittelee Suomen perustuslaki (16§; 731/1999 ja 31§; 628/1998). Opetuksen järjestäjä saa valtionosuutta opetustoimen kustannuksiin, siten myös retkiin. Kunnan opetustoimi voi osoittaa kouluille taloudellista resurssia retkiä, leirikouluja ja muita vierailuja varten.

Myös koululaisten huoltajat voivat halutessaan lahjoittaa rahaa koulun retkiä varten. Tällöin opettaja tai koulu ei ole vastuussa rahan keräämisestä, vaan asiaa hoitavat huoltajat yhteisellä sopimuksella. Rahaa voidaan kerätä monilla eri tavoilla. Oppijat voidaan osallistaa yhteiseen tekemiseen. Monille huoltajille tuttuja saattavat olla esimerkiksi seuraavat rahanansaintakeinot: kotityöt, tavaroiden (esimerkiksi vessapaperit, pesuaineet, keksit, karkit, kukat jne.) tai palveluiden (haravointi, lumityöt tms.) myyminen, talkoot, kahvilat, pullojen keruu, kaupassa avustaminen, yritys yhteistyöt. Luokan tilille voidaan myös laittaa yhdessä huoltajien kanssa sovittu summa kuukaudessa tai vuodessa.

Lainsäädäntö ei siten estä koulujen retkiä. Opetushallitus kannustaakin retkien järjestämiseen. Sen mukaan koulun ulkopuolinen opetus on merkityksellistä, “sillä se monipuolistaa oppimisympäristöä, aktivoi oppijoita ja on pedagogisesti tärkeää” (OPH, n.d.). Retkien ajatellaan edistävän sellaista toimintakulttuuria, jossa oppijat voivat harjoitella vuorovaikutusta ja yhteistyötä ympäröivän yhteisön kanssa. Retket tarjoavat elämyksiä ja mahdollisuuksia aktiivisuuteen ja osallistuvaan kansalaisuuteen sekä uudenlaisten työtapojen käyttöön. Ne voivat edistää myös oppijoiden hyvinvointia. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa koulun ulkopuolisten oppimisympäristöjen käyttöä korostetaan (OPH, 2014). Voidaan myös pohtia mahdollisuutta

maksuttomiin retkiin, kuten edellä mainittuun maasto-opetukseen koulun lähialueella.

## 8.9 Koulun ulkopuolisia vierailukohteita

Tässä alaluvussa käsitellään lyhyesti esimerkkien avulla vierailukohteita, joihin aktiviteetteja voidaan suunnitella. Esimerkit ovat oleellisia, koska vastaavan kaltaista esitystä ei tutkimuskirjallisuudessa ole tarjolla. Vaikka vierailukohteet ovat erilaisia, toiminnan suunnittelussa ja toteuttamisessa on ainedidaktiikan kannalta omat erityispiirteensä. Vierailun aiheet voivat liittyä paitsi biologian tiedonalaan, myös oppijan itsensä kannalta tärkeisiin asioihin, yhteiskunnallisesti kiistanalaisiin kysymyksiin ja kestävään kehitykseen. Vierailut linkittyvät luontevasti luonnontiedekasvatuksen eri visioihin 1–3 (vrt. Luku 2; Sjöström & Eilks, 2018, 2022). Kuten maasto-opetus, myös vierailujen tulee sisältyä mielekkäällä tavalla opetusjakson aiheisiin (Coll ym., 2018; Eloranta ym., 2005).

Vierailukohteet vaihtelevat koulun ympäristön ja sijainnin mukaan. Vierailut tehdään yleensä lähelle koulua, jotta sinne pääsee koulutunnin tai -päivän aikana (vrt. Poijärvi, 1989). Kauemmas kohdistuvia retkiä tehdään yleensä harvemmin, esimerkiksi kerran vuodessa tai kerran ala- tai yläkoulun aikana. Maastoretkien ohella biologian opetuksessa suosittuja retkikohteita ovat esimerkiksi museot, tiedekeskukset, kasvitieteelliset tai vastaavat puutarhat, eläintarhat, kotieläinlait, maatilat, torit, kauppahallit ja kaupat, vedenpuhdistamot, jätteenkäsittelylaitokset ja kierrätyskeskukset, tehtaat ja muut erilaiset yritykset sekä tutkimuskeskukset tai yliopistojen laitokset. Jopa teema- tai huvipuistot voivat soveltua vaikkapa monialaisten kokonaisuuksien opetukseen.

### *Museot*

Museot ovat olleet perinteisesti tärkeitä koulun vierailukohteita, mutta tutkimusta Suomen museoista biologian opetuksen oppimisympäristönä on niukasti (Salminen, 2012). Museoiden tarjoama opetus voi painottua opetussuunnitelmaan pohjautuvaan oppijoiden omatoimiseen tekemiseen ja kokeiluun tavoitteena itseohjautuvat, vapaavalintaiset oppimiskokemukset (Falk, 2005). Suomessa on lukuisia museoita, joihin on koottu niin paikallista kuin kan-



sallistakin perintöä ja historiaa. Suomen museoliitto (n.d.) tarjoaa sekä tietoa että valmiita oppimateriaali-ideoita opetuksen toteutukseen. Monet museot tarjoavat opetuspalveluita, jotka voivat olla esimerkiksi opastuksia, esitelmiä, luentoja tai työpajoja, kuten Helsingin yliopiston Luonnontieteellinen keskusmuseo (LUOMUS, n.d.). Osa museoista tarjoaa myös kummiluokkatoimintaa, jolloin pitkäjänteisempi yhteistyö on mahdollista. Useiden museoiden verkkosivuilla on materiaalia opetuksen tueksi. Museot tarjoavat usein myös virtuaalivierailuja omien verkkosivujen tai digimuseo-sivujen (Digimuseo, n.d.) kautta.

## *Tiedekeskukset*

Tiedekeskukset yleistajuistavat tiedettä ja tekevät sen konkreettisilla ja oivaluksia synnyttävillä tavoilla tutuksi kävijöille Tiedekeskusten toiminta perustuu *omatoimiseen tekemiseen* eli 'hands-on'-pedagogiikkaan (Kyere, 2017). Tiedekeskukset keskittyvät tieteen havainnollistamiseen vuorovaikutteisella tavalla. Puhutaan myös oppimisen laboratorioista (Salmi, 2010). Tiedekeskuksista käytetään myös joissain yhteyksissä käsitettä tiedemuseo, mutta nimikkeillä tarkoitetaan nykyään pääsääntöisesti samaa. Tiedekeskusten keskeisenä tehtävänä on edistää tiedekasvatusta ja tehdä tiedettä yhteiskunnallisesti näkyväksi. Esimerkiksi tiedekeskus Heureka tehtäväksi mainitaan oivaltamisen ilon ja elämysten tuottaminen kaikille ainutlaatuisella tavalla kokea, oppia ja innostua tieteestä. Tiedekeskuksissa osa näyttelyistä on yleensä pysyvää ja osa vaihtuvaa.

Monet tiedekeskukset järjestävät tapahtumia, kerhoja ja leirejä näyttelyiden lisäksi. Suomen ensimmäiset 1990-luvulla perustetut tiedekeskukset ovat Heureka Vantaalla ja tiedekeskus Tietomaa Oulussa. Näiden lisäksi tiedekeskuksia ovat tiedekeskukset Arktikum ja Pilke Rovaniemellä, Tekniikan museo Helsingissä, Suomen luontokeskus Haltia Espoossa, Suomen metsämuseo Lusto Punkaharjulla, Sodan ja rauhan keskus Mikkeliissä sekä Turun yliopiston Tiedekeskus. Suomen tiedekeskukset ry. on aloittanut toimintansa vuonna 2020. Yhdistys on osa FINSCI-tutkimuskonsortiota. Eurooppalaiset tiedekeskukset puolestaan kuuluvat The European Network of Science Centres and Museums -järjestöön (Ecsite, n.d.). Tunnettuja eurooppalaisia tiedekeskuksia ovat muun muassa Deutsches Museum Münchenissä, AHHA Tartossa ja NEMO Amsterdamissa.

## *Kasvitieteelliset puutarhat*

Kasvitieteelliset puutarhat soveltuvat monenlaiseen opetukseen ja erityisesti biologian opetuksen vierailukohteeksi. Kasvitieteellisten puutarhojen tehtävänä on säilyttää kasvikokoelmia sekä tutkimuksen, lajiston suojelun ja opetuksen, että yleisen valistuksen edistämisen vuoksi. Vančugovienén ja muiden (2024) mukaan tutkivaan lähestymistapaan perustuva biologian opetus kasvitieteellisessä puutarhassa voi edistää käsitteiden oppimista paremmin kuin perinteinen opetus luokkahuoneessa.

Suomessa on kahdeksan kasvitieteellistä puutarhaa. Osa puutarhoista on yliopistojen, osa muiden tahojen ylläpitämiä ja hallinnoimia. Helsingin yliopiston kasvitieteelliset puutarhat ovat osa Luonnontieteellisen keskusmuseon (LUOMUS) toimintaa. Suomessa on myös Oulun yliopiston, Jyväskylän yliopiston, Turun yliopiston ja Rauman seminaarin kasvitieteelliset puutarhat, Pietarsaaren koulupuisto, Joensuun Botania sekä Arboretum Mustila. Arboretum Mustila on Suomen vanhin ja suurin arboretum eli puulajipuisto. Alueella on tutkimusmetsikkö ja metsäpuutarha, jossa kasvaa myös satoja alppiruusuja ja atsaleoita. Lisäksi aiemmin Joensuun yliopiston omistama Botania toimii nykyisin yhdistysvoimin. Botanian yhteydessä on Suomen ainoa trooppinen perhospuutarha. Monista puutarhoista voi tilata opastuksen tai erityisen oppitunnin. Lisätietoja Suomen kasvitieteellisistä puutarhoista on koottu yhteiselle internet-sivulle (Suomen kasvitieteelliset puutarjat, n.d.; Botanic Gardens Conservation International, BGCI, n.d.) on kasvitieteellisten puutarhojen kansainvälinen yhteistyöverkosto. Sen tehtävä on edistää kasvien monimuotoisuutta ja sen suojelemista. Verkostoon kuuluu yli 2500 kasvitieteellistä puutarhaa yli 120 maasta.

## *Eläintarhat, kotieläintilat ja maatilat*

Elävät eläimet yleensä kiinnostavat oppilaita (Lindeman-Matthies, 2011; Uitto ym., 2006), jolloin vierailut eläintarhoihin, kotieläintiloille tai maatiloille soveltuvat hyvin myös biologian opetukseen. Suomessa on yli 60 eläintarhaa ja -näyttelyä. Suurilla eläintarhoilla, kuten Helsingissä sijaitsevalla Korkeasaarella, Ranuan eläinpuistolla, Ähtärin eläinpuistolla ja Liedossa sijaitsevalla Zoolandialla on myös luonnonsuojelullinen ja kasvatuksellinen tavoite. Näillä eläintarhoilla on ympäristökasvatuksellista toimintaa joko omatoimisesti teh-

täväksi tai niin, että niiltä voi varata esimerkiksi oppaan tai luontokouluopettajan pitämään oppitunnin. Osa eläintarhoista on sen sijaan pieniä, tiettyihin eläimiin keskittyviä vierailukohteita. Tällaisia ovat esimerkiksi pohjoisimmassa Suomessa sijaitsevat porotilat.

Kotieläintiloilla on useimmiten muutamia kotieläimiä, kuten hevosia tai poneja, kanoja, lampaita tai kaneja. Myös maatilojen ruuantuotanto ja lähiruoka voi olla olennainen osa kestävästä kehitystä painottavaa biologian opetusta (Smeds ym., 2015). Tällöin kuitenkin on tärkeä ottaa huomioon, että vierailut eläintarhoihin, kotieläintiloille ja mautiloille voivat herättää oppijoissa kysymyksiä eläinten oikeuksista, jolloin oppijoiden tulee voida keskustella aiheesta opetuksessa (vrt. Luku 6). Koska aiheet voivat olla sensitiivisiä ja kiistanalaisia, niitä voidaan pohtia yhdessä ja havaita näkökulmien moninaisuus (Ottander & Simon, 2021).

### *Torit, kauppahallit ja kaupat*

Käynnit esimerkiksi ruokaa myyvällä kauppapaikalla sopivat monen opittavan asian yhteyteen, kuten biodiversiteetti- ja kestävyyskasvatukseen. Toreilla, kauppahalleissa ja kaupoissa voidaan tehdä pienimuotoisia tutkimuksia, kuten selvittää tuotteiden alkuperää, kartoittaa luomutuotteiden valikoimaa, pohtia tuuli- ja hyönteispölytteisten kasvien määrää ja havainnoida esimerkiksi ihmisten kulutustottumuksia. Kauppapaikat sopivat myös oppilaiden pienimuotoisten haastattelututkimusten tekemiseen liittyen kestäväan kehitykseen. Vierailu tällaisessa paikassa mahdollistaa myös opittavan asian integroimisen toisiin oppiaineisiin.

### *Ympäristöpalvelut, kuten jätteenkäsittelylaitokset ja vedenpuhdistamot*

Vierailu jätteenkäsittelylaitokselle sopii hyvin kestäväan kehityksen kasvatuksen kokonaisuuksiin eri oppiaineissa ja monialaisissa kokonaisuuksissa. Vierailu on ajatuksia herättävä kokemus, jonka avulla jätteiden vähentämisen, lajittelun ja kierrättämisen merkitys tulee ymmärretyksi. Vedenpuhdistamovierailulla saa tietoa veden käytöstä sekä siitä, miten taajama-alueiden vesijohto- ja viemäröintiverkosto toimivat. Keskeistä on jätevedenpuhdistuksen

mekaaninen, kemiallinen ja biologinen puhdistaminen. Vierailun tavoite on auttaa oppijoita ymmärtämään veden käytön ja puhdistamisen suuri merkitys vesiensuojelussa. Suomen suurin jätteenkäsittelylaitos, Ämmässuon ekoteollisuuskeskus sijaitsee pääkaupunkiseudulla ja on nykyisin kiertotalouskeskittymä. Siellä sijaitsevat esimerkiksi biojätettä käsittelevät mädätys- ja kompostointilaitokset sekä biokaasuvoimala, kaasuvoimala sekä pienjätteitä vastaanottava Sortti-asema.

### *Kierrätyskeskukset tai kirpputorit*

Kiertotalouden, kestävän elämäntavan ja kulutuksen vähentämisen ymmärtämiseksi kierrätyskeskukset tai kirpputorit ovat merkittäviä vierailukohhteita. Kierrätyskeskuksista voi yleensä myös tilata vierailukierroksen, jonka aikana oppijat saavat tietoa siitä, miten kierrätys käytännössä toimii. Jos vierailua ei ole mahdollista järjestää, lisättyyn todellisuuteen perustuva tieto- ja viestintäteknologia voi auttaa oppijoita *vähennä- käytä uudelleen-kierrätä* (reduce-reuse-recycle eli 3R) -käytäntöjen oppimisessa (Sulistyowati ym., 2021).

### *Tehtaat ja muut teollisuusyritykset*

Opetusta voi elävöittää ja konkretisoida tutustumalla tehtaiden, laitosten tai muiden biologian alaan liittyvien yritysten, kuten laboratorioden toimintaan. Yritysvierailut voivat motivoida oppijoita alan opiskeluun (Stuckey ym., 2013). Vierailulla oppijat voivat nähdä omakohtaisesti, kuinka tehdas tai yritys toimii, ja saada tietoa tarjolla olevista ammattiala- ja työpaikoista. Teollisuus- ja yritysvierailu kannustaa myös eettiseen keskusteluun ja pohdintaan (vrt. Luku 6). Tehtaalla vierailu voi auttaa joskus polarisoituvallakin tuntuvaan keskusteluun ja antaa uudenlaisia näkökulmia esimerkiksi energian tuottamiseen, rakentamiseen, kuluttamiseen, lajitteluun ja kierrättämiseen. Lisäksi vierailuun voi kytkeytyä vahvasti keksimisen näkökulma. Monet bioalan yritykset tarvitsevat uusiutuakseen jatkuvasti uusia innovaatioita.

## *Tutkimuskeskukset ja yliopistot*

Vierailu tutkimuskeskukseen tai yliopistoon voi innostaa suuntautumaan biologian opintojen pariin. Vierailun voi toteuttaa havainnointina tai aktiivisena osallistumisena. Asiantuntijoiden pitämät lyhyetkin keskustelutuokiot laajentavat ymmärrystä biologisten taitojen, tietojen ja tutkimuksen merkityksestä. Vierailu voi auttaa hahmottamaan, miten alaa voi päästä opiskelemaan ja millaisia suuntautumisvaihtoehtoja biologian opiskelijoilla saattaa olla. Alaa opiskelevien kanssa keskustelu voi motivoida myös ammatinvalinnassa.

## *Leirikoulut ja muut ”yön yli” -retket*

Leirikoulu tarkoittaa koulua, joka toteutetaan koulun ulkopuolella useamman päivän ajan, useimmiten 2–5 päivää kestäen. Leirikoulun suunnittelevat yleensä opettajat, oppijat ja vanhemmat yhdessä. Toiminta on koulun, matkailun ja leirielämän yhdistelmää, jossa yhdistetään teoriaa ja käytäntöä sekä erityisesti harjoitellaan sosiaalisia ja yhdessä tekemisen taitoja (Eloranta ym., 2005; Leirikouluyhdistys, n.d.). Leirikoulutoiminta perustuu opetussuunnitelmaan ja sen asettamiin tavoitteisiin. Esimerkiksi perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa leirikoulu mainitaan yhtenä opetuksen eheyttämisen keinona (OPH, 2014, s. 31).

Leirikouluja voidaan järjestää Suomessa tai ulkomailla. Suomessa on useita leirikoulutoimintaan perehtyneitä leirikoulukeskuksia, jotka järjestävät vuosittain leirikouluja. Myös koulun lähialueella järjestettävä leirikoulu on kannatettava – aina etäisyys koulusta ei ole se juttu, vaan yhdessäolo. Leirikoulun suunnittelussa ja ideoinnissa auttaa esimerkiksi Leirikouluyhdistys (n.d.). Sen tavoitteena on toteuttaa ja kehittää paitsi leirikoulutoimintaa, myös muuta koulun ulkopuolista oppimista. Leirikouluyhdistyksen keskeisenä tavoitteena on, että jokainen lapsi pääsisi leirikouluun peruskoulunsa aikana varallisuuteen katsomatta. Ajatus kuitenkin on, että leirikoulun ja siihen liittyvän varainhankinnan tulee olla vapaaehtoista. Jos oppija ei halua osallistua leirikouluun, hänelle järjestetään opetusta koululla esimerkiksi toisen luokan kanssa.

## *Virtuaalivierailut*

Vierailu ei aina vaadi siirtymistä fyysisestä ympäristöstä toiseen, vaan vierailun tai vierailijan voi järjestää luokkaan myös virtuaalisesti digitaalisia välineitä ja sovelluksia käyttäen. Virtuaalisuus mahdollistaa etäisyyksistä riippumattoman yhteistyön koulun ulkopuolisten ja kansainvälisten toimijoiden kanssa. Pandemiavuodet osoittivat, että koulut pystyvät järjestämään tarpeen vaatiessa opetuksen virtuaalisten oppimisympäristöjen avulla (Lavonen & Salmela-aro, 2022).

Virtuaalisen vierailun voi toteuttaa monella eri tavalla. Virtuaalisuus mahdollistaa myös eriyttämisen ja antaa joustoa esimerkiksi tehtävien tekemiseen tai korvaamiseen. Virtuaalinen omatoimivierailu voi kohdistua esimerkiksi opetettavaan aiheeseen liittyvään vierailukohteeseen, dokumenttiin tai äänikirjaan. Se voi toimia yksittäisenä ja itsenäisenä tehtävänä tai se voi liittyä johonkin laajempaan kokonaisuuteen. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että virtuaalinen vierailu voi täydentää koulussa opetettavaa asiaa tai varsinaista vierailua. Esimerkiksi vierailtavaan kohteeseen tutustutaan etukäteen tai toisaalta muistutellaan vierailusta jälkikäteen. Virtuaalisella materiaalilla on lisäksi mahdollista laajentaa varsinaisen vierailun sisältöä, kohdetta tai tehtäviä esimerkiksi seuraavin tavoin:

- Oppijalle annetaan esimerkiksi suora linkki, jolla hän tutustuu kohteeseen. Esimerkiksi Korkeasaari.
- Oppijalle annetaan avainsanoja, joiden avulla hän etsii vastaavanlaisia vierailukohteita Suomesta tai ulkomailta ja tutustuu niihin. Esimerkiksi “Zoos in Europe” tai “European Association of Zoos and Aquaria”.
- Oppijalle annetaan suora linkki dokumenttiin tai podcastiin. Hänen tulee katsoa aiheeseen liittyvä dokumentti tai kuunnella äänitallenne.
- Varsinainen tehtävä voi olla opettajan antamien ohjeiden mukaisesti esimerkiksi kirjallinen, kuvallinen, video- tai podcast-muotoinen tuotos. Opettaja voi antaa tarkkoja kysymyksiä, joihin oppijan tulee vastata tai tehtävänanto voi olla hyvinkin avoin.

Virtuaalivierailu ryhmän kanssa voidaan tehdä esimerkiksi museoihin, tiedekeskuksiin tai vastaaviin kohteisiin. Oppijat voidaan jakaa pienryhmiin ja kullekin ryhmälle antaa erilaisia tehtäviä. Opettaja voi antaa tehtävät tai oppijat voivat itse kehittää tehtävät vierailun pohjalta. Vuorovaikutteisessa virtuaalivierailussa oppijat ja vierailukohde toimivat yhteistyössä. Yhteistyön kohteena voi olla esimerkiksi uuden suunnittelu, kehittäminen tai luominen. Tällaiset kohteet voivat olla esimerkiksi tutkimuslaitoksia tai yrityksiä, jotka antavat oppijaryhmälle tehtävän, jota tehdään yhdessä.

Virtuaalinen vierailija voi saapua myös oppitunneille. NykYTEKNIikka mahdollistaa vieraan saapumisen myös virtuaalisesti siten, ettei hänen tarvitse matkustaa paikan päälle. Vierailija voi olla oppitunnilla mukana vain hetken tai pidemmän aikaa. Vierailijoita voi olla samalla kertaa myös useita. Jos vierailija antaa luvan, vierailu voidaan tallentaa ja siihen voidaan palata myös myöhemmin uudestaan. Vierailu voidaan järjestää monella tavalla:

- Vierailija esittää, pitää opetustuokion tai oppitunnin oppijoille.
- Oppijat kysyvät vierailijalta kysymyksiä, joita he ovat voineet valmistaa ja jotka on voitu lähettää hänelle etukäteen. On tärkeää varata aikaa myös spontaanien kysymysten tekemiseen. Lisäksi voidaan pohtia virtuaalisten keskustelualustojen käyttöä.
- Vierailijan rooli voi olla myös käänteinen, jolloin vierailijalle esitetään jotakin ja vierailija on vastaanottavassa roolissa. Hän voi esimerkiksi toimia kommentoijana ja palautteen antajana. Oppijat ja vierailija voivat myös toimia yhdessä, esimerkiksi ideoida ja suunnitellaan tuotetta tai tapahtumaa.

## 8.10 Turvallisuus koulun ulkopuolisissa oppimisympäristöissä

Opettaja vastaa niin koulussa tapahtuvan opetuksen kuin myös koulun ulkopuolelle suuntautuvien retkien turvallisuudesta (Eloranta ym., 2005). Siten hänen on hyvä ottaa huomioon jo etukäteen tiettyjä asioita, joilla riskejä voidaan vähentää.

Ennen koulun ulkopuolelle suuntautuvaa opetusta opettajan kannattaa tehdä riskianalyysi, jossa hän pohtii mahdollisten haasteiden ja riskien toteutumisi-

sen todennäköisyyttä, niiden ehkäisemistä ja riskien ratkaisemista. Tulee siis miettiä etukäteen, miten toimitaan esimerkiksi tapaturman sattuessa, jonkun oppijan eksyessä, sairastuessa, aiheuttaessa vahinkoa, käyttäessä päihteitä tai myöhästyessä sovitusta ajasta. Seuraavassa on Suomen ympäristö- ja luontokoululiiton (Luontokoulut, 2015) mukaan koottu lista asioista, jotka tulee ottaa huomioon turvallisuutta varmistettaessa:

- Oppijoita, huoltajia ja muuta koulun henkilökuntaa tiedotetaan retkestä.
- Matkapuhelin pidetään mukana retkellä.
- Selvitetään, ovatko koulun, opettajan tai oppijan vakuutukset voimassa ja mitä ne kattavat. Useimmiten koulun vakuutukset kattavat koulun ulkopuolelle tehdyn opetuksen tapaturmat.
- Tallennetaan tärkeät puhelinnumerot: vakuutusyhtiö, huoltajat ja koulun rehtori; terveysasema tai sairaala; mahdollisen tilausbussin puhelinnumero.
- Valitaan retkipaikka, jossa turvallisuus on oppijaryhmän kanssa mahdollista ylläpitää.
- Varmistetaan, onko mahdollisessa retkipaikassa turvallisuussuunnitelmaa.
- Selvitetään etukäteen oppijoiden mahdolliset allergiat ja lääkitykset.
- Ensiapuvälineet otetaan mukaan retkelle.
- Retkelle osallistujia ohjeistetaan oikeanlaisista varusteista, kuten sään mukaiset vaatteet ja kengät, mahdolliset lisäeväät.
- Ratkaistaan, tarvitaanko retkelle mukaan muita aikuisia, kuten toinen opettaja, koulunkäyntiavustaja tai oppijoiden huoltajia.
- Suunnitellaan retki mahdollisimman tarkasti: tiedottaminen, etukäteisvalmistelut, siirtymät, itse retkikohde ja ohjelma, eväät ja paluu koululle.



- 
- Suunnitellaan, mitä opetusvälineitä tarvitaan mukaan.
  - Tilataan koululta eväät, jos retki kestää yli kouluruokailun. Otetaan huomioon ruokarajoitteet ja erityisruokavaliot.
  - Laaditaan tarvittaessa retkelle omat erilliset säännöt.
  - Jos oppija ei voi osallistua retkelle, opettajan tulee tehdä hänelle korvaava ohjelma.

Yhteenvedona voidaan todeta, että maasto-opetus ja vierailut koulun ulkopuolisiin kohteisiin on olennainen osa biologian opetusta. Ne auttavat kytkemään opiskelun tieto- ja taitotavoitteet konkreettisesti luonnossa tehtäviin havaintoihin sekä oppijan oman elämään ja yhteiskunnallisiin kysymyksiin. Maasto-opetuksesta on monenlaisia hyötyjä aina oppimisen tehostumisesta hyvinvointiin ja luontosuhteen kehittymiseen. Kestävyyskasvatuksen näkökulmasta maasto-opetus on merkityksellistä ympäristösuhteen kehittämiseksi.

Maasto-opetusta ja vierailuja voi toteuttaa monin tavoin riippuen käytettävissä olevasta ajasta ja mahdollisuuksista. Lyhyillä tehtävillä ja retkillä koulun lähiympäristöön voidaan totuttaa oppijat vähitellen säännöllisempään ulkona työskentelyyn, pidempiin tutkimusprojekteihin ja vierailujen monivaiheiseen hyödyntämiseen osana opiskelua ja oppimista. Tärkeintä on kuitenkin aloittaminen ja rohkea kokeileminen: jo koulun piha avaa biologian opiskelulle uuden ja innostavan maailman.

## LÄHTEET

- Aalto, M. (2004). *Parjaavasta kolautteesta korjaavaan palautteeseen*. My Generation.
- Aarnio-Linnanvuori, E. (2018). Ympäristö ylittää oppiainerajat: Arvolatautuneisuus ja monialaisuus koulun ympäristöopetuksen haasteina. Helsingin yliopisto. *Environmentalica Fennica*, 34. <http://hdl.handle.net/10138/229396>
- Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L., & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural. *Science Education*, 82(4), 417–436. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199807\)82:4<417::AID-SCE1>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199807)82:4<417::AID-SCE1>3.0.CO;2-E)
- Abd-El-Khalick, F., BouJaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H.-L. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88, 397–419. <https://doi.org/10.1002/sce.10118>
- Aboytes, J. G., & Barth, M. (2020). Transformative learning in the field of sustainability: A systematic literature review (1999–2019). *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 21(5). <https://doi.org/10.1108/IJSHE-05-2019-0168>
- Agell, L., Soria, V., & Carrió, M. (2015). Using role play to debate animal testing. *Journal of Biological Education*, 49(3), 309–321. <https://doi.org/10.1080/00219266.2014.943788>
- Ahmed, S. (2004). *The cultural politics of emotion*. Edinburgh University Press.
- Ahonen, R., & Lohtaja-Ahonen, S. (2014). *Palaute kuuluu kaikille*. Human interest.
- Aikenhead, G. S. (2006). *Science education for everyday life: evidence-based practice*. Teachers College Press.
- Aikenhead, G. S. (2007). Expanding the research agenda for scientific literacy. Teoksessa C. Linder, L. Östman, & P-O. Wickman (Toim.), *Promoting scientific literacy: Science education research in transaction*. Proceedings of the Linnaeus Tercentenary Symposium held at Uppsala University Uppsala, Sweden, May 28–29, 2007 (ss. 64–71). Geotryckeriet.
- Ainscow, M. (2016). Diversity and equity: A global education challenge. *New Zealand Journal of Educational Studies*, 51(2), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s40841-016-0056-x>
- Airasian, P. (2005). *Assessment in the classroom: A concise approach* (2. p.). McGraw-Hill Company.

- 
- Aivelo, T. (2023). School students' attitudes towards unloved biodiversity: insights from a citizen science project about urban rat. *Environmental Education Research*, 29(1), 81–98. <https://doi.org/10.35542/osf.io/wbehu>
- Aivelo, T., & Huovelin, S. (2020). Combining formal education and citizen science: A case study on students' perceptions of learning and interest in an urban rat project. *Environmental Education Research*, 26(3), 324–340. <https://doi.org/10.1080/13504622.2020.1727860>
- Aivelo, T., Neffling, E., & Karala, M. (2022). Representation for whom? Transformation of sex/gender discussion from stereotypes to silence in Finnish biology textbooks from 20th to 21st century. *Journal of Biological Education*. <https://doi.org/10.1080/00219266.2022.2047099>
- Aivelo, T., & Uitto, A. (2015). Genetic determinism in the Finnish upper secondary school biology textbooks. *Nordic Studies in Science Education*, 11(2), 139–152. <https://doi.org/10.5617/nordina.2042>
- Aivelo, T., & Uitto, A. (2019). Teachers' choice of content and consideration of controversial and sensitive issues in teaching of secondary school genetics. *International Journal of Science Education*, 41(18), 2716–2735. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1694195>
- Aivelo, T., & Uitto, A. (2021). Factors explaining students' attitudes towards learning genetics and belief in genetic determinism. *International Journal of Science Education*, 43(9), 1408–1425. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1917789>
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50, 179–211.
- Akdemir, E., & Özçelik, C. (2019). The investigation of the attitudes of teachers towards using student centered teaching methods and techniques. *Universal Journal of Educational Research*, 7(4), 1147–1153. <https://doi.org/10.13189/ujer.2019.070427>
- Akkerman, S. F., & Bakker, A. (2011). Boundary crossing and boundary objects. *Review of Educational Research*, 81(2), 132–169. <https://doi.org/10.3102/0034654311404435>
- Aksela, M., & Lehto, S. M. (2019). *LUMA – yhdessä olemme enemmän! Intoa matematiikan, luonnontieteiden ja teknologian opetukseen ja opiskeluun: Raportti kansallisesta LUMA SUOMI-kehittämishajelmasta vuosilta 2014–2019*. Opetus- ja kulttuuriministeriön julkaisuja, 35. Opetus- ja kulttuuriministeriö.
- Aksela, M., Tikkanen, G., & Kärnä, P. (2012). Mielekäs luonnontieteiden opetus: Miten tukea oppilaiden ajattelua ja ymmärtämistä. Teoksessa P. Kärnä, L. Houtsonen, & T. Tähhä (Toim.), *Luonnontieteiden opetuksen kehittämishaasteita 2012* (ss. 9–28). Opetushallitus.

- Aleknavičiūtė, V., Lehtinen, E., & Södervik, I. (2023). Thirty years of conceptual change research in biology – A review and meta-analysis of intervention studies. *Educational Research Review*, 41(5), 100556. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100556>
- Ali, S. S. (2019). Problem based learning: A student-centered approach. *English Language Teaching*, 12(5), 73–78. <https://doi.org/10.5539/elt.v12n5p73>
- Alkhalwaldeh, S. A. (2007). Facilitating conceptual change in ninth grade students' understanding of human circulatory system concepts. *Research in Science & Technological Education*, 25(3), 371–385. <https://doi.org/10.1080/02635140701535331>
- Almeida, A., & Vasconcelos, C. (2013). Teachers' perspectives on the human-nature relationship: Implications for environmental education. *Research on Science Education*, 43(1), 299–316. <https://doi.org/10.1007/s11165-011-9272-z>
- Alnagrat, A. J. A., Che Ismail, R., Syed Idrus, S. Z., & Abdulhafith Alfaqi, R. M. (2022). A review of extended reality (XR) technologies in the future of human education: Current trend and future opportunity. *Journal of Human Centered Technology*, 1(2), 81–96. <https://doi.org/10.11113/humentech.v1n2.27>
- Aluehallintovirasto. Koe-eläimet. Luettu Huhtikuu 1, 2024, <https://avi.fi/tietoa-meista/tehtavamme/elaimet/koe-elaimet>
- Amin, T. G. (2019). Representation, concepts and concept learning. Teoksessa T. G. Amin, & O. Levrini (Toim.), *Converging perspectives on conceptual change: Mapping an emerging paradigm in the learning sciences* (1. p., ss. 129–150). Routledge; Taylor Francis.
- Amprazis, A., & Papadopoulou, P. (2020). Plant blindness: a faddish research interest or a substantive impediment to achieve sustainable development goals? *Environmental Education Research*, 26(2), 1–24. <https://doi.org/10.1080/13504622.2020.1768225>
- Amundson, R. (1998). Typology reconsidered: Two doctrines on the history of evolutionary biology. *Biology and Philosophy*, 13, 153–177. <https://doi.org/10.1023/A:1006599002775>
- Anderson, B. A. (2013). A value-driven mechanism of attentional selection. *Journal of Vision*, 13(3), Article 7. <https://doi.org/10.1167/13.3.7>
- Andersson, E. (2022). The role of science in finding solutions to wicked, systemic problems. *Ambio*, 51, 1–8. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01525-x>
- Anderson, J. R. (2005). *Cognitive psychology and its implications*. Macmillan.
- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruickshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J., & Wittrock, M. C. (Toim.) (2001). *A taxonomy for learning, teaching and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Addison Wesley Longman.

- 
- Antinluoma, M., Ilomäki, L., & Toom, A. (2021). Practices of professional learning communities. *Frontiers In Education*, 6, 89. <https://doi.org/10.3389/feduc.2021.617613>
- Anttalainen, H., & Tulivuori, J. (Toim.). (2011). *Luonnontieteiden opetustilat, työturvallisuus ja välineet*. Opetushallitus.
- Arbeiter, J., & Bučar, M. (2021). Transformative education. Bridging education for change. European Union: Bridge 47. (Suomeksi Transformatiivinen koulutus. Koulutus muutoksen välineenä. Oppaat ja käsikirjat 2021, 6. Helsinki: Opetushallitus). Luettu Heinäkuu 5, 2024, [https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/Transformatiivinen\\_koulutus.pdf](https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/Transformatiivinen_koulutus.pdf)
- Archer, L., Dawson, E., DeWitt, J., Seakins, A., & Wong, B. (2015). “Science capital”: A conceptual, methodological, and empirical argument for extending bourdieusian notions of capital beyond the arts. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(7), 922–948. <https://doi.org/10.1002/tea.21227>
- Arici, F., Yıldırım, P., Caliklar, S., & Yilmaz, R. (2019). Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis. *Computers & Education*, 142. 103647. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103647>
- Aristoteles. (2012). *Teokset III. Fysiikka*. T. Jatakari, & K. Näätäsaari (Suom.). Gaudeamus.
- Asay, L. D., & Orgill, M. (2010). Analysis of essential features of inquiry found in articles published in the Science Teacher, 1998–2007. *Journal of science teacher education*, 21(1), 57–79. <https://doi.org/10.1007/s10972-009-9152-9>
- Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518–560. <https://doi.org/10.1002/tea.20061>
- Asterhan, C. S., & Schwarz, B. B. (2016). Argumentation for learning: Well-trodden paths and unexplored territories. *Educational Psychologist*, 51(2), 164–167. <https://doi.org/10.1080/00461520.2016.1155458>
- Atjonen, P. (2007a). Eettinen näkökulma arviointiin: Miten ja kenen hyvää etsitään? *Didacta Varia*, 12(2), 31–41.
- Atjonen, P. (2007b). *Hyvä, paha arviointi*. Tammi.
- Atjonen, P. (2013). Arvioinnin eettiset periaatteet. Teoksessa G. Knubb-Manninen, H. Niemi, & V. Pietiläinen (Toim.), *Kansallinen arviointi kohti tulevaisuutta*. Koulutuksen arviointineuvoston 10-vuotisjuhlaulkaisu. Koulutuksen arviointineuvoston julkaisuja, 63, 117–129.
- Atjonen, P. (2015). *Kehittävä arviointi kasvatusalalla*. Kirjokansi.

- Atjonen, P. (2017). Arviointiosaamisen kehittämisen yleissivistävän koulun opettajien koulutuksessa. Opetussuunnitelmatarkastelun virittämiä näkemyksiä. Teoksessa V. Britschgi, & J. Rautopuro (Toim.), *Kriteerit puntarissa* (ss. 132–169). Kasvatusalan tutkimuksia, 74.
- Atjonen, P., Laivamaa, H., Levonen, A., Orell, S., Saari, M., Sulonen, K. T., Tamm, M., Kamppi, P., Rumou, N., Hietala, R., & Immonen, J. (2019). ”Että tietää missä on menossa”. *Oppimisen ja osaamisen arviointi perusopetuksessa ja lukiokoulutuksessa*. KARVI, Kansallinen koulutuksen arviointikeskus, Julkaisut, 7. Luettu Heinäkuu 1, 2024, [https://www.karvi.fi/sites/default/files/sites/default/files/documents/KARVI\\_0719.pdf](https://www.karvi.fi/sites/default/files/sites/default/files/documents/KARVI_0719.pdf)
- Atkin, J. M., & Karplus, R. (1962). Discovery or invention? *Science Teacher*, 29(5), 45. <https://www.jstor.org/stable/24146536>
- Auer, M. R. (2008). Sensory perception, rationalism and outdoor environmental education. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 17(1). <https://doi.org/10.2167/irgee225.0>
- Autio, T. (2017). Johdanto. Kansainvälistyvä opetussuunnitelmatutkimus kansallisen koulutuspolitiikan ja opetussuunnitelmareformien älyllisenä ja poliittisena resurssina. Teoksessa T. Autio, L. Hakala, & T. Kujala (Toim.), *Opetussuunnitelmatutkimus: keskustelunavauksia suomalaiseen kouluun ja opettajankoulutukseen* (ss. 17–56). Tampere University Press. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-0635-9>
- Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University (2016). Sustainable development goals: The SDGs wedding cake. Stockholm Resilience Centre (CC BY 4.0). Luettu Heinäkuu 1, 2024, <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-the-sdgs-wedding-cake.html>
- Bacharach, N., Heck, T. W., & Dahlberg, K. (2010). Changing the face of student teaching through coteaching. *Action in Teacher Education*, 32(1), 3–14. <https://doi.org/10.1080/01626620.2010.10463538>
- Badenhorst, E., Mamede, S., Hartman, N., & Schmidt, H. G. (2015). Exploring lecturers' views of first-year health science students' misconceptions in biomedical domains. *Advances in Health Sciences Education*, 20(2), 403–420. <https://doi.org/10.1007/s10459-014-9535-3>
- Balcombe, J. (1997). Student/teacher conflict regarding animal dissection. *American Biology Teacher*, 59(1), 22–25. <https://doi.org/10.2307/4450235>
- Balding, M., & Williams, K. J. H. (2016). Plant blindness and the implications for plant conservation. *Conservation Biology*, 30(69), 1192–1199. <https://doi.org/10.1111/cobi.12738>
- Ballouard, J. M., Brischoux, F., & Bonnet, X. (2011). Children prioritize virtual exotic biodiversity over local biodiversity. *PLoS ONE*, 6(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023152>

- 
- Balsiger, J., Förster, R., Mader, C., Nagel, U., Sironi, H., Wilhelm, S., & A. B. Zimmermann (2017). Transformative learning and education for sustainable development. *GAIA*, 26(4), 357–359. <https://doi.org/10.14512/gaia.26.4.15>
- Bamberg, S., & Möser, G. (2007). Twenty years after Hines, Hungerford, and Tomera: A new meta-analysis of psycho-social determinants of pro-environmental behaviour. *Journal of Environmental Psychology*, 27(1), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2006.12.002>
- Banchi, H., & Bell, R. (2008). The many levels of inquiry. *Science and Children*, 46(2), 26–29.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W. H. Freeman/Times Books/ Henry Holt & Co.
- Barak, J., Sheva, B., Gorodetsky, MalkA., Gurion, B (1999). As "process" as it can get: Students' understanding of biological processes. *International Journal of Science Education*, 21(12), 1281–1292. <https://doi.org/10.1080/095006999290075>
- Barr, G., & Herzogl, H. (2000). Fetal pig: The high school dissection experience. *Society & Animals*, 8(1), 53–69. <https://doi.org/10.1163/156853000X00039>
- Barrable, A., & Lakin, L. (2020). Nature relatedness in student teachers, perceived competence and willingness to teach outdoors: an empirical study. *Journal of Adventure Education and Outdoor Learning*, 20(3), 189–201. <https://doi.org/10.1080/14729679.2019.1609999>
- Barré-Sinoussi, F., Chermann, J. C., Rey, F., Nugeyre, M. T., Chamaret, S., Gruest, J., Dauguet, C., Axler-Blin, C., Vézinet-Brun, F., Rouzioux, C., Rozenbaum, W., & Montagnier, L. (1983). Isolation of a T-lymphotropic retrovirus from a patient at risk for acquired immune deficiency syndrome (AIDS). *Science*, 220(4599), 868–871. <https://doi.org/10.1126/science.6189183>
- Barrow, L., Markman, L., & Rouse, C. E. (2009). Technology's edge: The educational benefits of computer-aided instruction. *American Economic Journal: Economic Policy*, 1(1), 52–74. <https://doi.org/10.3386/w14240>
- Basten, M., Meyer-Ahrens, I. N. G. A., Fries, S., & Wilde, M. (2014). The Effects of autonomy-supportive vs. controlling guidance on learners' motivational and cognitive achievement in a structured field trip. *Science Education*, 98(6), 1033–1053. <https://doi.org/10.1002/sce.21125>
- Bazzul, J., & Sykes, H. (2011). The secret identity of a biology textbook: Straight and naturally sexed. *Cultural Studies of Science Education*, 6(2), 265–286. <https://doi.org/10.1007/s11422-010-9297-z>

- Beery, T., Olafsson, A. S., Gentin, S., Maurer, M., Stålhammar, S., Albert, C., Bieling, C., Buijs, A., Fagerholm, N., Garcia-Martin, M., Plieninger, T., & Raymond, C. (2023). Disconnection from nature: Expanding our understanding of human-nature relations. *People and Nature*, 5(2), 470–488. <https://doi.org/10.1002/pan3.10451>
- Bell, R. L., Smetana, L., & Binns, I. (2005). Simplifying inquiry instruction. *The Science Teacher*, 72(7), 30–33.
- Belland, B. R., Gu, J., Armbrust, S., & Cook, B. (2015). Scaffolding argumentation about water quality: a mixed-method study in a rural middle school. *Educational Technology, Research and Development*, 63(3), 325–353. <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9373-x>
- Belland, B. R., Gu, J., Kim, N. J., & Turner, D. J. (2016). An ethnomethodological perspective on how middle school students addressed a water quality problem. *Educational Technology, Research and Development*, 64(6), 1135–1161. <https://doi.org/10.1007/s11423-016-9451-8>
- Bennett, J. A., & Saunders, C. P. (2019). A virtual tour of the cell: Impact of virtual reality on student learning and engagement in the STEM classroom. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 20(2), 20.2.37. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v20i2.1658>
- Bentsen, P., Jensen, F. S., Mygind, E., & Randrup, T. B. (2010). The extent and dissemination of udeskole in Danish schools. *Urban Forestry & Urban Greening*, 9(3), 235–243. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2010.02.001>
- Ben-Zvi, O., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518–560. <https://doi.org/10.1002/tea.20061>
- Berenbaum, S. A., Blakemore, J. E. O., & Beltz, A. M. (2011). A role for biology in gender-related behavior. *Sex Roles*, 64(11–12), 804–825. <https://doi.org/10.1007/s11199-011-9990-8>
- Bermudez, G., & Lindemann-Matthies, P. (2020). “What matters is species richness” – Highschool students’ understanding of the components of biodiversity. *Research in Science Education*, 50, 2159–2187. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9767-y>
- Berninger, K., Tapio, P., & Willamo, R. (1996). *Ympäristönsuojelun perusteet*. Gaudeamus.
- Bertone, M. A., Leong, M., Bayless, K. M., Malow, T. L., Dunn, R. R., & Trautwein, M. D. (2016). Arthropods of the great indoors: characterizing diversity inside urban and suburban homes. *PeerJ*, 4, e1582. <https://doi.org/10.7717/peerj.1582>
- Besson, A. (2020). *In Defence of Cities - Aesthetics of Engagement in Everyday Environments*, JYU Dissertation, 190, Jyväskylän yliopisto. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-39-8055-9>. [Väitöskirja]



- 
- BGCI (n.d.). Botanic Gardens Conservation International. <https://www.bgci.org/>. Luettu 4.3.2024.
- Bianchi, G., Pisiotis, U., & Cabrera Giraldez, M. (2022). *GreenComp – The European sustainability competence framework - JRC Science for Policy Report*. Teoksessa M. Bacigalupo, & Y. Punie (Toim.), EUR 30955 EN, Publications Office of the European Union. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/13286>
- Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for quality learning at university*. Open University Press.
- Bildjuschkin, K. (Toim.) (2015). *Seksuaalikasvatuksen tueksi. Työpäperi 35/2015*. Terveiden ja hyvinvoinnin laitos.
- Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., Ripley, M., Miller-Ricci, M., & Rumble, M. (2012). Defining twenty-first century skills. Teoksessa P. E. Griffin, B. McGaw, & E. Care (Toim.), *Assessment and teaching of 21<sup>st</sup> century skills* (ss. 17–66). Springer. [http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-2324-5\\_2](http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-2324-5_2)
- Biström, B., & Lundström, R. (2021a). Textbooks and action competence for sustainable development: an analysis of Swedish lower secondary level textbooks in geography and biology. *Environmental Education Research*, 27(2), 279–294. <https://doi.org/10.1080/13504622.2020.1853063>
- Biström, B., & Lundström, R. (2021b). Action competence for gender equality as sustainable development: Analyzing Swedish lower secondary level. Textbooks in biology, civics, and home and consumer studies. *Comparative Education Review*, 65(3), 513–533. <https://doi.org/10.1086/714607>
- Bivens, F., Moriarty, K., & Taylor, P. (2009). Transformative education and its potential for changing the lives of children in disempowering contexts. *IDS Bulletin*, 40(1), 97–108. <https://doi.org/10.1111/j.1759-5436.2009.00014.x>
- Bloom, B. S. (Toim.) (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook I. Cognitive Domain*. Longman.
- Blumenfeld, P. C., Soloway, E., Marx, R. W., Krajcik, J. S., Guzdial, M., & Palincsar, A. (1991). Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning. *Educational Psychologist*, 26(3–4), 369–398. <https://doi.org/10.1080/00461520.1991.9653139>
- Blömeke, S., Gustafsson, J.-E., & Shavelson, R. J. (2015). Beyond dichotomies: Competence viewed as a continuum. *Zeitschrift für Psychologie*, 223(1), 3–13. <https://doi.org/10.1027/2151-2604/a000194>
- Boeren, E. (2019). Understanding sustainable development goal (SDG) 4 on “quality education” from micro, meso and macro perspectives. *International Review of Education*, 65, 277–294. <https://doi.org/10.1007/s11159-019-09772-7>

- Bolte, C., Holbrook, J., & Rauch, F. (2012). *Inquiry-based science education in Europe: First examples and Reflections from the PROFILES Project*. University of Klagenfurt.
- Bonthoux, S., Voisin, L., Bouché-Pillon, S., & Chollet, S. (2019). More than weeds: Spontaneous vegetation in streets as a neglected element of urban biodiversity. *Landscape and urban planning*, 185, 163–172. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.02.009>
- Borg, C., Gericke, N., Höglund, H.-O., & Bergman, E. (2012). The barriers encountered by teachers implementing education for sustainable development: Discipline bound differences and teaching traditions. *Research in Science & Technological Education*, 30(2), 185–207. <https://doi.org/10.1080/02635143.2012.699891>
- Borko, H., Roberts, S. A., & Shavelson, R. (2008). Teachers' decision making: from Alan J. Bishop to today. Teoksessa P. Clarkson, & N. Presmeg, (Toim.), *Critical issues in mathematics education* (ss. 37–67). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-09673-5\\_4](https://doi.org/10.1007/978-0-387-09673-5_4)
- Boshuizen, H. P. A., Gruber, H., & Strasser, J. (2020). Knowledge restructuring through case processing: The key to generalise expertise development theory across domains? *Educational Research Review*, 29, 100310. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100310>
- Bowell, T., & Kingsbury, J. (2013). Virtue and argument: Taking character into account. *Informal Logic*, 33(1), 22–32. <https://doi.org/10.22329/il.v33i1.3608>
- Brandstädter, K., Harms, U., & Großsiedl, J. (2012). Assessing system thinking through different concept-mapping practices. *International Journal of Science Education*, 34(14), 2147–2170. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.716549>
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience and school. Expanded Edition of Sciences*. National Academy Press.
- Braun, E. L. (1950). *Deciduous forests of Eastern North America*. Blakiston.
- Braun, T., & Dierkes, P. (2017). Connecting students to nature: how intensity of nature experience and student age influence the success of outdoor education programs. *Environmental Education Research*, 23(7), 937--949. <https://doi.org/10.1080/13504622.2016.1214866>
- Braund, M., & Reiss, M. (2006). Validity and worth in the science curriculum: Learning school science outside the laboratory. *The Curriculum Journal*, 17(3), 213–228. <https://doi.org/10.1080/09585170600909662>

- 
- Breiting S., & Mayer M. (2015). Quality criteria for ESD schools: Engaging whole schools in education for sustainable development. Teoksessa R. Jucker, & R. Mathar (Toim.), *Schooling for sustainable development in Europe. Schooling for sustainable development*, 6 (ss. 31–46). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09549-3\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09549-3_3)
- Breiting, S., & Wickenberg, P. (2010). The progressive development of environmental education in Sweden and Denmark. *Environmental Education Research*, 16(1), 9–37. <https://doi.org/10.1080/13504620903533221>
- Broadway, F. S. (2011). Queer (v.) queer (v.): Biology as curriculum, pedagogy, and being albeit queer (v.). *Cultural Studies of Science Education*, 6(2), 293–304. <https://doi.org/10.1007/s11422-011-9325-7>
- Brondizio, E. S., Settele, J., Díaz, S., & Ngo, H. T. (Toim.) (2019). Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES secretariat, Bonn, Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- Bronkhorst, L. H., & Akkerman, S. F. (2016). At the boundary of school: Continuity and discontinuity in learning across contexts. *Educational Research Review*, 19, 18–35. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.04.001>
- Brookhart, S. (2008). *How to give effective feedback to your students*. Alexandria Va: Association for Supervision & Curriculum Development.
- Brown, G. A., Bull, J., & Pendlebury, M. (2013). *Assessing student learning in higher education*. Routledge.
- Brundiers, K., & Wiek, A. (2010). Educating students in real-world sustainability research: *Vision and implementation*. *Innovative Higher Education*, 36, 107–124. <https://doi.org/10.1007/s10755-010-9161-9>
- Brundiers, K., & Wiek, A. (2017). Beyond interpersonal competence: Teaching and learning professional skills in sustainability. *Education Sciences*, 7(1), 39. <https://doi.org/10.3390/educsci7010039>
- Brundtlandin Komissio (1987). *Yhteinen tulevaisuutemme*. (Our common future: Report of the World Commission on environment and development). Oxford University Press.
- Burnett P. C., & Mandel V. (2010). Praise and feedback in the primary classroom: Teachers' and students' perspectives. *Australian Journal of Education & Developmental Psychology*, 10, 145–154. <http://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ906941.pdf>
- Burroughs, N., Gardner, J., Lee, Y., Guo, S., Touitou, I., Jansen, K., & Schmidt, W. (2019). A review of the literature on teacher effectiveness and student outcomes. Teoksessa N. Burroughs, J. Gardner, Y. Lee, S. Guo, I. Touitou, K. Jansen, & W. Schmidt (Toim.), *Teaching for excellence and equity. Analyzing teacher characteristics, behaviors and student outcomes with TIMSS*. IEA Research for Education, 6 (ss. 7–17). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16151-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16151-4_2)

- Butler, J., Pulkkinen, T., & Rossi, L.-M. (Toim.) (2006). *Hankala sukupuoli: feminismi ja identiteetin kumous*. Gaudeamus.
- Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Heinemann.
- Bybee, R. W. (2006). Scientific inquiry and science teaching. Teoksessa L. B. Flick, & N. G. Lederman (Toim.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning and teacher education* (ss. 1–14). Springer.
- Bybee, R. W., & Landes, N. M. (1990). Science for Life & Living: An Elementary School Science Program from Biological Sciences Curriculum Study. *The American Biology Teacher* 52(2), 92-98.
- Bybee, R. W., & Sund, R. B. (1982). *Piaget for educators* (2. p.). Prospect Heights, Waveland Press, Inc.
- Çalik, M., Okur, M., & Taylor, N. A. (2011). Comparison of different conceptual change pedagogies employed within the topic of “sound propagation”. *Journal of Science Education and Technology*, 20, 729–742. <https://doi.org/10.1007/s10956-010-9266-z>
- Cantell, H. (Toim.) (2015). *Näin rakennat monialaisia oppimiskokonaisuuksia*. PS-kustannus.
- Cantell, H., Tolppanen, S., Aarnio-Linnanvuori, E., & Lehtonen, A. (2019). Bicycle model on climate change education: presenting and evaluating a model. *Environmental Education Research*, 25(5), 717–731. <https://doi.org/10.1080/13504622.2019.1570487>
- Çapkınoğlu, E., & Yılmaz, S. (2018). Examining the data component used by seventh grade students in arguments related to local socioscientific issues. *Eğitim ve Bilim; Ankara*, 43(196). <http://search.proquest.com/education/docview/2135990940/abstract/7EF9E5EC1E214C7BPQ/14>
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. MIT Press.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? Teoksessa S. Carey, & R. Gelman (Toim.), *The epigenesis of mind* (ss. 257–291). Lawrence Erlbaum Associates.
- Carey, S. (2000). Science education as conceptual change. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), 13–19. [https://doi.org/10.1016/S0193-3973\(99\)00046-5](https://doi.org/10.1016/S0193-3973(99)00046-5)
- Carson, R. (1962). *Silent spring*. Houghton Mifflin.
- Castéra, J., Clément, P., Munoz, F., & Bogner, F. X. (2018). How teachers’ attitudes on GMO relate to their environmental values. *Journal of Environmental Psychology*, 57, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.04.002>
- Cavallo, A., & McCall, D. (2008). Seeing may not mean believing: Examining students’ understandings & beliefs in evolution. *The American Biology Teacher*, 70, 522–530. <https://doi.org/10.1662/0002-7685-70.9.522>

- 
- CBD (Convention on Biological Diversity). (1992, 2002). The convention on biological diversity (cbd.int). Montrealin luontokokous COP15. Ympäristöministeriö.
- Cetin, G., Ertepinar, H., & Geban, O. (2015). Effects of conceptual change text based instruction on ecology, attitudes toward biology and environment. *Educational Research and Reviews*, 10(3), 259–273. <https://doi.org/10.5897/ERR2014.2038>
- Chen K., & Arnold F. H. (1993). Tuning the activity of an enzyme for unusual environments: sequential random mutagenesis of subtilisin E for catalysis in dimethylformamide. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS) USA* 15,90(12), 5618–5622. <https://doi.org/10.1073/pnas.90.12.5618>
- Chen, B., Scardamalia, M., & Bereiter, C. (2015). Advancing knowledge-building discourse through judgments of promising ideas. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 10, 345–366. <https://doi.org/10.1007/s11412-015-9225-z>
- Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *The Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 161–199. <http://www.jstor.org/stable/25473477>
- Chi, M. T. H. (2013). Two kinds and four sub-types of misconceived knowledge, ways to change it, and the learning outcomes. Teoksessa S. Vosniadou (Toim.), *International handbook of research on conceptual change* (2. p., ss. 49–70). Routledge.
- Chi, M. T. H., Roscoe, R. D., Slotta, J. D., Roy, M., & Chase, C. C. (2012). Misconceived causal explanations for emergent processes. *Cognitive Science*, 36(1), 1–61. <https://doi.org/10.1111/j.1551-6709.2011.01207.x>
- Chi, M. T. H., & Slotta, J. D. (1993). The ontological coherence of intuitive physics. *Cognition and Instruction*, 10(2&3), 249–260.
- Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1–49.
- Chiu, M. H., & Lin, J. W. (2005). Promoting fourth graders' conceptual change of their understanding of electric current via multiple analogies. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(4), 424–468. <https://doi.org/10.1002/tea.20062>
- Chiu, T. K. F., Xia, Q., Zhou, X., Chai, C. S., & Cheng, M. (2023). Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, 100118. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100118>

- Cincera, J., Kroufek, R., & Bogner, F. X. (2022). The perceived effect of environmental and sustainability education on environmental literacy of Czech teenagers. *Environmental Education Research*, 29(9), 1276–1293. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2107618>
- Claire, H., & Holden, C. (2007). *The challenge of teaching controversial issues*. Trentham Books.
- Clayton, T., & Radcliffe, N. (2018). *Sustainability: A systems approach*. Routledge.
- Cochrane, A., Garner, R., & O'Sullivan, S. (2018). Animal ethics and the political. *Critical Review of International Social and Political Philosophy*, 21(2), 261–277. <https://doi.org/10.1080/13698230.2016.1194583>
- Cohen, L. J. (1992). *An essay on belief & acceptance*. Clarendon Press.
- Coll, S., Coll, R., & Treagust, D. (2018). Making the most of out-of-school visits: How does the teacher prepare? Part I: Development of the learner integrated field trip inventory (LIFTI). *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 26(4), 1–19.
- Conner, A. M., Singletary, L. M., Smith R. C., Wagner, P. A., & Fransisco, R. T. (2014). Teacher support for collective argumentation: A framework for examining how teachers support students' engagement in mathematical activities. *Educational studies in mathematics*, 86(3), 401–429. <https://www.jstor.org/stable/43589858>
- Connolly, M., & Haughton, C. (2015). The perception, management and performance of risk amongst forest school educators. *British Journal of Sociology of Education*, 38(2), 105–124. <https://doi.org/10.1080/01425692.2015.1073098>
- Conway Morris, S. (2004). *Life's solution: inevitable humans in a lonely universe*. Cambridge University Press.
- Corres, A., Ruiz-Mallén, I., & Rieckmann, M. (2024) Educators' competences, motivations and teaching challenges faced in education for sustainable development: what are the interlinkages? *Cogent Education*, 11(1), 2302408. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2302408>
- Crane, L., & Winterbottom, M. (2008) Plants and photosynthesis: peer assessment to help students learn. *Journal of Biological Education*, 42(4), 150–156. <https://doi.org/10.1080/00219266.2008.9656133>
- Darwin, C. (1859). *On the origin of species by means of natural selection or the preservation of favoured paces in the struggle for life*. John Murrey.
- Dasgupta, P. (2021), The economics of biodiversity: The Dasgupta review. HM Treasury. Luetu Heinäkuu 7, 2024, <https://www.gov.uk/government/publications/final-report-the-economics-of-biodiversity-the-dasgupta-review>

- 
- Davidov, E., Schmidt, P., & Schwartz, S. H. (2008). Bringing values back in: The adequacy of the European social survey to measure values in 20 countries. *Public Opinion Quarterly*, 72(3), 420–445. <https://doi.org/10.1093/poq/nfn035>
- Davidson, K. (2014). A Typology to categorize the ideologies of actors in the sustainable development debate. *Sustainable Development*, 22, 1–14. <https://doi.org/10.1002/sd.520>
- Davies, G. R. (2013). Appraising weak and strong sustainability: searching for a middle ground. *Consilience: The Journal of Sustainable Development*, 10(1), 111–124. <https://doi.org/10.7916/consilience.v0i10.4635>
- Davison, D. R., & Michod, R. E. (2023). The role of metaphor in shaping scientific inquiry. *Metascience* 32, 313–316. <https://doi.org/10.1007/s11016-023-00862-9>
- De Grez, L., Roozen, I., & Valcke, M. (2012). How effective are self- and peer assessment of oral presentation skills compared with teachers' assessments? *Active Learning in Higher Education*, 13(2), 129–142. <https://doi.org/10.1177/1469787412441284>
- de Jong, T., Lazonder, A. W., Chinn, C. A., Fischer, F., Gobert, J., Hmelo-Silver, C. E., Koedinger, K. R., Krajcik, J. S., Kyza, E. A., Linn, M. C., Pedaste, M., Scheiter, K., & Zacharia, Z. C. (2023). Let's talk evidence – The case for combining inquiry-based and direct instruction. *Educational Research Review*, 39, 100536. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100536>
- De Keijzer, H., Jacobs, G., van Swet, J., & Veugelers, W. (2022). Teachers' moral learning in professional learning groups. *Professional Development in Education*, 48(1), 5–21. <https://doi.org/10.1080/19415257.2020.1712617>
- De Villiers, R., & Monk, M. (2005). The first cut is the deepest: Reflections on the state of animal dissection in biology education. *Journal of Curriculum Studies*, 37(5), 583–600. <https://doi.org/10.1080/00220270500041523>
- Dearden, R. F. (1981). Controversial issues and the curriculum. *Journal of Curriculum Studies*, 13(1), 37–44. <https://doi.org/10.1080/0022027810130105>
- Dempster, E. R. (2023). What is 'powerful knowledge' in school biology? *Journal of Biological Education*, 57(2), 245–247. <https://doi.org/10.1080/00219266.2023.2190269>
- Deng, Z. (2022). Powerful knowledge, educational potential and knowledge-rich curriculum: Pushing the boundaries. *Journal of Curriculum Studies*, 54(5), 599–617. <https://doi.org/10.1080/00220272.2022.2089538>
- Deringer, S. A., & Hanley, A. (2021). Virtual reality of nature can be as effective as actual nature in promoting ecological behavior. *Ecopsychology*, 13(3), 219–226. <https://doi.org/10.1089/eco.2020.0044>

- DeWitt, J., & Hohenstein, J. (2010). School trips and classroom lessons: An investigation into teacher–student talk in two settings. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 454–473. <https://doi.org/10.1002/tea.20346>
- Dewsbury, D. (1999). The proximate and the ultimate: past, present, and future. *Behavioural Processes*, 46(3), 189–199.
- Di Biase, R. (2019). Moving beyond the teacher-centred/learner-centred dichotomy: Implementing a structured model of active learning in the Maldives. *A Journal of Comparative and International Education*, 49(4), 565–583. <https://doi.org/10.1080/03057925.2018.1435261>
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H., Agard, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K., Butchart, S., Chan, K., Garibaldi, L., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S. M., Midgley, G., Miloslavich, P., Molnár, Z., Obura, D., ... Zayas, C. N. (2019). Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science*, 366(6471), <https://doi.org/10.1126/science.aax3100>
- Díaz, S., Zafra-Calvo, N., Purvis, A., Verburg, P. H., Obura, D., Leadley, P., Chaplin-Kramer, R., Meester, L., Dulloo, E., Martín-López, B., Shaw, M. R., Visconti, P., Broadgate, W., Bruford, M. W., Burgess, N. D., Cavender-Bares, J., DeClerck, F., Fernández-Palacios, J. M., ... Zanne, A. E. (2020). Set ambitious goals for biodiversity and sustainability, Multiple, coordinated goals and holistic actions are critical. *Science*, 370(6515), 411–413. <https://doi.org/10.1126/science.abe1530>
- Dickinson, J. L., Shirk, J., Bonter, D., Bonney, R., Crain, R. L., Martin, J., Phillips, T., & Purcell, K. (2012). The current state of citizen science as a tool for ecological research and public engagement. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(6), 291–297. <https://doi.org/10.1890/110236>
- Dickson, D. (2005). The case for a "deficit model" of science communication. *SciDev.Net* 24 June. Luettu Heinäkuu 5, 2024, <https://perma.cc/PG4T-3V6S>
- Digimuseo (n.d.). Digimuseo. <https://digimuseo.fi>. Luettu Maaliskuu 4, 2024.
- Dillon, J., Rickinson, M., Teamey, K., Morris, M., Young Choi, M., Sanders, D., & Benefield, P. (2006). The Value of outdoor learning: evidence from research in the UK and elsewhere. *School Science Review*, 87(320), 107–111.
- Dimmock NJ, Easton AJ, Leppard K (2007). *Introduction to Modern Virology* (6th ed.). Blackwell Publishing.
- DiSessa, A. (1993). Toward an epistemology in physics. *Cognition and Instruction*, 10(2&3), 105–225. <https://www.jstor.org/stable/3233725>
- Dobzhansky, T. (1973). Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *American Biology Teacher*, 35(3), 125–129. <https://doi.org/10.2307/4444260>



- 
- Dochy, F., Mein, S., Van den Bossche, P., & Gijbels, D. (2003). Effects of problem-based learning: A meta-analysis. *Learning and Instruction*, 13, 533–568. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00025-7)
- Donovan, B. M. (2014). Playing with fire? The impact of the hidden curriculum in school genetics on essentialist conceptions of race. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(4), 462–496. <https://doi.org/10.1002/tea.21138>
- Drissner, J., Haase, H.-M., & Hille, K. (2010). Short-term environmental education—Does it work?: An evaluation of the ‘green classroom’. *Journal of Biological Education*, 44(4), 149–155. <https://doi.org/10.1080/00219266.2010.9656215>
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (1998). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312.
- Duit, R., & Glynn, S. (1996). Mental modelling. Teoksessa G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Toim.), *Research in science education in Europe: Current issues and themes* (ss. 166–176). Farmer Press.
- Duschl, R. A., & Osborne, J. (2002). Supporting and promoting argumentation discourse in science education. *Studies in Science Education*, 38(1), 39–72. <https://doi.org/10.1080/03057260208560187>
- Duschl, R., & Hamilton, R. (2011). Learning science. Teoksessa R. E. Mayer, & P. A. Alexander (Toim.), *Handbook of research on learning and instruction* (ss. 78–107). Routledge; Taylor & Francis Group.
- Eagly, A. H., & Chaiken, S. (1993). *The psychology of attitudes*. Harcourt Brace Jovanovich College Publishers.
- Ecsite (n.d.). The European Network of Science Centres and Museums. Luettu Maaliskuu 4, 2024, <https://www.ecsite.eu/>
- Edwards-Jones, A., Waite, S., & Passy, R. (2018). Falling into LINE: school strategies for overcoming challenges associated with learning in natural environments (LINE). *Education*, 3-13, 46(1), 49–63. <https://doi.org/10.1080/03004279.2016.1176066>
- Eggert, S., & Bögeholz, S. (2006). Göttinger Modell der Bewertungskompetenz–Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ für Gestaltungsaufgaben nachhaltiger Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 177–197.
- EIGE (European Institute for Gender Equality) (n.d.). Heteronormatiivisuus. Luettu Heinäkkuu 11, 2024, [https://eige.europa.eu/publications-resources/thesaurus/terms/1384?language\\_content\\_entity=fi](https://eige.europa.eu/publications-resources/thesaurus/terms/1384?language_content_entity=fi)
- Eilam, B. (2013). Possible constraints of visualization in biology: Challenges in learning with multiple representations. Teoksessa D. Treagust, & C.-Y. Tsui (Toim.), *Multiple representation in biological education. Models and modeling science education* (ss. 55–73). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8_4)

- El Batri, B., Alami, A., Zaki, M., & Nafidi, Y. (2020). Environmental education in Moroccan primary schools: Promotion of representations, knowledge, and environmental activities. *Elementary Education Online*, 19, 219–239. <https://doi.org/10.17051/ilkonline.2020.653790>
- Eloranta, V., Jeronen, E., & Palmberg, I. (Toim.) (2005). *Biologia eläväksi, Biologian didaktiikka*. PS-kustannus; Helda Open Books. <https://doi.org/10.31885/9789515150646>
- Epstein, C. (2016). Ecosystemic approach. *Encyclopedia Britannica*. Luettu Heinäkuu 28, 2024, <https://www.britannica.com/science/ecosystemic-approach>.
- Erduran, S., & Dagher, Z. R. (2014). *Reconceptualizing the nature of science for science education*. Scientific knowledge, practices and other family categories. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6670-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6670-2_1)
- Erduran, S., & Jiménez-Aleixandre, M. (Toim.) (2007). *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6670-2>
- Estaji, M. (2011). Ethics and validity stance in educational assessment. Canadian Center of Science and Education. English Language and *Literature Studies*, 1(2), 89–99. <http://dx.doi.org/10.5539/ells.v1n2p89>
- European Commission, 2010. Directorate-General for Research and Innovation, Stares, S., Allansdottir, A. and Gaskell, G., Europeans and biotechnology in 2010 – Winds of change?, Publications Office, 2010, <https://data.europa.eu/doi/10.2777/23393>
- European Commission. (2022). *Education for environmental sustainability: Policies and approaches in European Union Member States*. Final report. P. O. o. t. E. Union. Luettu Heinäkuu 1, 2024, <http://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/a193e445-71c6-11ec-9136-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF>
- European Commission: European Education and Culture Executive Agency (2024). Learning for sustainability in Europe. Building competences and supporting teachers and schools: Eurydice report. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/dc327457-f875-11ee-a251-01aa75ed71a1/language-en>
- Evans, E. M. (2013). Evolutionary biology and conceptual change: A developmental perspective. Teoksessa S. Vosniadou (Toim.), *International handbook of research on conceptual change* (ss. 220–239). Routledge.
- Evans, J. H. (2003). Have Americans' attitudes become more polarized? - An update. *Social Science Quarterly*, 84(1), 71–90. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8401005>
- Falk, J. H. (1982). Environmental education: formal vs. informal learning. *Environmental Education and Information*, 2(3), 171–178.

- 
- Falk, J. H. (2005). Free-choice environmental learning: Framing the discussion. *Environmental Education Research*, 11(3), 265–280. <https://doi.org/10.1080/13504620500081129>
- Farioli, F., Mayer, M., Millican, R., Redman, A., & Vare, P. (2022). Assessing sustainability competences: a discussion on what and how. Teoksessa P. Vare, N. Lausset, & M. Rieckmann (Toim.), *Competences in education for sustainable development: critical perspectives* (ss. 175–182). Springer, Cham.
- Feierabend, T., Stuckey, M., Nienaber, S., & Eilks, I. (2012). Two approaches for analyzing students' competence of "evaluation" in group discussions about climate change. *International Journal of Environmental and Science Education*, 7(4), 581–598.
- Fien, J. F. (2001). *Education and sustainability: reorienting Australian schools for a sustainable future*. Tela: Environment, economy and society, 8. Australian Conservation Foundation.
- Fitzgerald, M., Danaia, L., & McKinnon, D. H. (2019). Barriers inhibiting inquiry-based science teaching and potential solutions: Perceptions of positively inclined early adopters. *Research in Science Education*, 49, 543–566. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9623-5>
- Fitzpatrick, D., Fox, A., & Weinstein, B. (2023). *The AI classroom: The ultimate guide to artificial intelligence in education*. Teacher goals Publishing.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American psychologist*, 34(10), 906–911. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906>
- Flemming, D., Kimmerle, J., Cress, U., & Sinatra, G. (2019). Research is tentative, but that's okay: Overcoming misconceptions about scientific tentativeness through refutation texts. *Discourse Processes*, 57(1), 17–35. <https://doi.org/10.1080/0163853X.2019.1629805>
- Fornaciari, A., & Männistö, P. (2015). Yhteiskunta- ja demokratiakasvatuksen sudenkuoppa. Opettajien avulla kohti kriittisempää kansalaisuutta. *Kasvatus & Aika*, 9(4), 72–86. <https://journal.fi/kasvatusjaaika/article/view/68556>
- Foster, R., Mansikka-aho, A., & Salonen, A. O. (2022). Ekososiaalinen sivistys osallistumisen, vaikuttamisen ja kestäväen tulevaisuuden rakentamisen pohjana. Teoksessa N. Heinonen, P. Nilivaara, M. Saarnio, & M.-P. Vainikainen (Toim.), *Laaja-alainen osaaminen koulussa. Ajattelijana ja oppijana kehittyminen* (ss. 204–217). Gaudeamus.
- Foucault, M. (1975). *Surveiller et punir: Naissance de la prison*. Gallimard.
- Franco, L., Shanahan, D. F., & Fuller, R. A. (2017). A Review of the benefits of nature experiences: More than meets the eye. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, 864. <https://doi.org/10.3390/ijerph14080864>

- Franklin, R. E., & Gosling, R. G. (1953). Molecular configuration in sodium thymonucleate. *Nature*, *171*, 740. <https://doi.org/10.1038/171740a0>
- Furtak, E. M., & Penuel, W. R. (2019). Coming to terms: Addressing the persistence of “hands-on” and other reform terminology in the era of science as practice. *Science education*, *103*, 167–186. <https://doi.org/10.1002/sce.21488>
- Fägerstam, E., & Blom, J. (2012). Learning biology and mathematics outdoors: effects and attitudes in a Swedish high school context. *Journal of Adventure Education & Outdoor Learning*, *13*(1), 56–75. <https://doi.org/10.1080/14729679.2011.647432>
- Galdikas, B. (1995). *Reflections of Eden: My years with the orangutans of Borneo*. Back Bay Books.
- Ganzevoort, W., & van Den Born, R. (2019). The thrill of discovery: Significant nature experiences among biodiversity citizen scientists. *Ecopsychology*, *11*(1), 22–32. <https://doi.org/10.1089/eco.2018.0062>
- Garland, T., Downs, C. J., & Ives, A. R. (2022). Trade-offs (and constraints) in organismal biology. *Physiological and Biochemical Zoology*, *95*(1), 82–112. <https://doi.org/10.1086/717897>
- Gauthier, G. (2005). Argumentation et opinion dans la prise de position éditoriale. Argumentation et communication dans les médias, Québec. *Éditions Nota bene*, 131–155.
- Gayford, C. (2000). Biodiversity education: A teacher’s perspective. *Environmental Education Research*, *6*(4), 347–361. <https://doi.org/10.1080/713664696>
- Gelman, S. A., & DeJesus, J. M. (2018). The language paradox: Words invite and impede conceptual change. Teoksessa T. G. Amin, & O. Levrini (Toim.), *Converging perspectives on conceptual change: Mapping an emerging paradigm in the learning sciences* (ss. 89–96). Routledge; Taylor Francis Group. <https://doi.org/10.4324/9781315467139-12>
- Gentner, D. (1983). Structure mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, *7*(2), 155–170. [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(83\)80009-3](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(83)80009-3)
- Gentner, D., & Smith, L. (2012). Analogical reasoning. Teoksessa V. Ramachandran (Toim.), *Encyclopedia of human behavior* (2. p., ss. 130–136). Elsevier.
- Gericke, N. (2008). *Science versus school-science - Multiple models in genetics: The depiction of gene function in upper secondary textbooks and its influence on students’ understanding*. Karlstad University Studies, 47. [Väitöskirja, Karlstad University]. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:128104/FULLTEXT02.pdf>

- 
- Gericke, N. (2022). Teaching for the Anthropocene. Bildung-oriented education for sustainable development in a subject-specific curriculum. Teoksessa E. Krogh, A. Quvartrup, & S. T. Graf (Toim.), *Bildung, knowledge, and global challenges in education. Didaktik and curriculum in the Anthropocene era* (1. p., ss. 53–69). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003279365>
- Gericke, N., Högström, P., & Wallin, J. (2022). A systematic review of research on laboratory work in secondary school. *Studies in Science Education*, 59(2), 245–285. <https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2090125>
- Gerl, T., Almer, J., Zahner, V., & Neuhaus, J. B. (2018). Der BISA-test: Ermittlung der formenkenntnis von schülern am beispiel einheimischer vogelarten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24, 235–249. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0086-7>
- Ghent, C., Trauth-Nare, A., Dell, K., & Haines, S. (2014). The influence of a statewide green school initiative on student achievement in K–12 Classrooms. *Applied Environmental Education & Communication*, 13(4), 250–260. <https://doi.org/10.1080/1533015x.2014.983658>
- Giddings, B., Hopwood, B., & O’Brian, G. (2002). Environment, economy and society: Fitting them together into sustainable development. *Sustainable Development*, 10, 187–196. <https://doi.org/10.1002/sd.199>
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of ‘context’ in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957–976. <https://doi.org/10.1080/09500690600702470>
- Gilissen, M. G. R., Knippels, M. C. P. J., & van Joolingen, W. R. (2020a). Teachers’ and educators’ perspectives on systems thinking and its implementation in Dutch biology education. *Journal of Biological Education*, 54(5), 485–496. <https://doi.org/10.1080/00219266.2019.1609564>
- Gilissen, M. G. R., Knippels, M-C. P. J., & van Joolingen, W. R. (2020b). Bringing systems thinking into the classroom. *International Journal of Science Education*, 42(8), 1253–1280. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1755741>
- Gillies, R. M. (2019). Promoting academically productive student dialogue during collaborative learning. *International Journal of Educational Research*, 97, 200–209. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2017.07.014>
- Glackin, M. (2016). ‘Risky fun’ or ‘authentic science’? How teachers’ beliefs influence their practice during a professional development programme on outdoor learning. *International Journal of Science Education*, 38(3), 409–433. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1145368>
- Glackin, M. (2017). “Control must be maintained”: exploring teachers’ pedagogical practice outside the classroom. *British Journal of Sociology of Education*, 39(1), 61–76. [https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102\\_4](https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_4)

- Glaze, A. L., & Goldston, M. J. (2015). U.S. science teaching and learning of evolution: A critical review of the literature 2000-2014. *Science Education*, 99(3), 500–518. <https://doi.org/10.1002/sc.21158>
- Goodsell, D. S., Franzen, M. A., & Herman, T. (2018). From atoms to cells: Using meso scale landscapes to construct visual narratives. *Journal of molecular biology*, 430(21), 3954–3968. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2018.06.009>
- Gould, S. J. (1989). *Wonderful life: The Burgess shale and the nature of history*. W.W. Norton.
- Suom. O. Nummi, & M. Nummi (1991). *Ihmeellinen elämä: Burgessin esiintymä ja historian kulku*. Art House.
- Granic, L., Lobel, A., & Engels, R. C. (2014). The benefits of playing video games. *American Psychologist*, 69(1), 66–78. <https://doi.org/10.1037/a0034857>
- Green, S., Johnson, R., Kim, D., & Pope, N. (2007). Ethics in classroom assessment practices: Issues and attitudes. *Teaching and Teacher Education*, 23(7), 999–1011. <https://psycnet.apa.org/doi/10.1016/j.tate.2006.04.042>
- Greene, J. A., Sandoval, W. A., & Bråten I. (Toim.) (2016). *Handbook of Epistemic Cognition*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315795225>
- Greene, J. C. (1959). Darwin and religion. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 103(5), 716–725.
- Gregory, T. R. (2009). Understanding natural selection: Essential concepts and common misconceptions. *Evolution: Education & Outreach*, 2(2), 156–175. <https://doi.org/10.1007/s12052-009-0128-1>
- Griffith, J. A., & Brem, S. K. (2004). Teaching evolutionary biology: Pressures, stress, and coping. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 791–809. <https://doi.org/10.1002/tea.20027>
- Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1989). *Fourth generation evaluation*. Sage.
- Guy, S., Kashima, Y., Walker, I., & O'Neill, S. (2013). Comparing the atmosphere to a bathtub: Effectiveness of analogy for reasoning about accumulation. *Climatic Change*, 121, 579–594. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0949-3>
- Hakkarainen, K., Bollström-Huttunen, M., Pyysalo, R., & Lonka, K. (2005). *Tutkiva oppiminen käytännössä: matkaopas opettajille*. WSOY.
- Hakkarainen, K., & Seitamaa-Hakkarainen, P. (2020). Uutta luova oppiminen ja sen ohjaaminen. Teoksessa T. Korhonen, & K. Kangas (Toim.), *Keksimisen pedagogiikka* (ss. 332–354). PS-kustannus.
- Hall, B. K. (2012). Evolutionary developmental biology (Evo-Devo): Past, present, and future. *Evolution: Education and Outreach*, 5, 184–193. <https://doi.org/10.1007/s12052-012-0418-x>
- Halonen, T., Korhonen-Kurki, K., Niemelä, J., & Pietikäinen, J. (Toim.) (2022). *Kestävyyden avaimet. Kestävyytieteen keinoin ihmisen ja luonnon yhteiselo.* Gaudeamus.

- 
- Hansson, S. O. (2021). Science and Pseudo-Science. Teoksessa E. N. Zalta (Toim.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2021 Edition). <https://plato.stanford.edu/archives/fall2021/entries/pseudo-science>
- Haraway, D. (2015). Anthropocene, capitalocene, plantationocene, chthulucene: Making kin. *Environmental humanities*, 6(1), 159–165. <https://doi.org/10.1215/22011919-3615934>
- Harden, K. P. (2023). Genetic determinism, essentialism and reductionism: semantic clarity for contested science. *Nature Reviews Genetics*, 24, 197–204. <https://doi.org/10.1038/s41576-022-00537-x>
- Harlen, W. (2007). Formative classroom assessment in science and education. Teoksessa J. McMillan (Toim.), *Formative classroom assessment* (ss. 116–135). Columbia University Teachers College Press.
- Harlen, W. (2013). Inquiry-based learning in science and mathematics. *Review of science, mathematics and ICT education*, 7(2), 9–33. <https://doi.org/10.26220/rev.2042>
- Hartelt, T., Martens, H., & Minkley, N. (2022). Teachers' ability to diagnose and deal with alternative student conceptions of evolution. *Science Education*, 106, 706–738. <https://doi.org/10.1002/sce.21705>
- Hattie, J. (2011). Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses related to achievement. *International Review of Education*, 57, 219–221. <https://doi.org/10.1007/s11159-011-9198-8>
- Hattie J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81–112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- Haverinen, R., Mattila, K., Neuvonen, A., Saramäki, R., & Sillanaukee, O. (2021). Ihminen osana elonkirjoa, Luontosuhteet, luontokäsitykset ja sivistys kestävyyskriisin aikakaudella. Sitra. Luettu Heinäkuu 5, 2024. <https://www.sitra.fi/julkaisut/ihminen-osana-elonkirjoa/>
- Havu-Nuutinen, S., Kervinen, A., Uitto, A., Laine, A., Koliseva, A., Pyykkö, L., Impiö, P., & Aittola, T. (2019). Pre-service and in-service teachers' experiences of inquiry-based primary science teaching, A collaborative team-teaching model. *Journal of Baltic Science Education*, 18(4), 583–594. <https://doi.org/10.33225/jbse/19.18.583>
- Havu-Nuutinen, S., Kontkanen, S., Kärkkäinen, S., Waltzer, K & Suortti, E. (2023, Elokuu 28–Syyskuu 1). *Primary School Students' Perceptions of Studying STEM Subjects and Experiences of Science Capital Lessons*. European Science Education conference ESERA. Cappadocia, Turkey. ESERA-27-08-2023-.pdf (esera2023.net)
- Havu-Nuutinen, S., Sporea, D., & Sporea, A. (2017). Inquiry and creativity approaches in early years science education. A comparative analysis of Finland and Romania. Teoksessa E. Kimonen E., & R. Nevalainen (Toim.), *Reforming teaching and teacher education: Bright prospects for active schools* (ss. 89–116). Sense Publishers.

- Heikkilä, J. (1981). *Luovan ongelmanratkaisun didaktiikka*. WSOY:n graafiset laitokset.
- Heikkurinen, P. (2014). Kestävyyden käsitteen ulottuvuudet. *Tieteessä Tapahtuu*, 32(4). <https://journal.fi/tt/article/view/46149>
- Heinonen, N., Katajavuori, N., & Södervik, I. (2023). University teachers' professional vision with respect to their conceptions of teaching and learning: Findings from an eye-tracking study. *Frontiers in education*, 8, 1232273. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1232273>
- Heinonen, N., Nilivaara, P., Saarnio, M., & Vainikainen, M.-P. (Toim.) (2022). *Laaja-alainen osaaminen koulussa. Ajattelijana ja oppijana kehittyminen*. Gaudeamus.
- Helenius, L., Hinkkanen, E., Kröger, M., Uitto, A., & Vuori, S. (2022). Kestävän tulevaisuuden tekijät -projektikurssin opettajan opas: Materiaali opiskelijälähtöisen kestävän kehityksen projektikurssin toteuttamiseen. WWF Suomi. Luettu Heinäkuu 1, 2024, <https://wwf.fi/opettajille/opetusmateriaalit/?id=kestavan-tulevaisuuden-rakentajat-projektikurssin-opettajan-opas>
- Hemingway, J., & Armstrong, F. (2012). Space, place and inclusive learning. *International Journal of Inclusive Education*, 16(5–6), 479–483. <https://doi.org/10.1080/13603116.2012.655502>
- Hermann, P., Waxman, S. R., & Mewdin, D. L. (2010). Anthropocentrism is not the first step in children's reasoning about the natural world. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(22), 9979–9984. <https://www.jstor.org/stable/25681716>
- Herring, E., & Radick, G. (2019). Emergence in Biology: From Organicism to Systems Biology. Teoksessa S. Gibb, R. F. Hendry, & T. Lancaster (Toim.), *The Routledge Handbook of Emergence*. Routledge Handbooks in Philosophy (ss. 352–362). Routledge.
- Hienonen, N., Nilivaara, P., Saarnio, M., & Vainikainen, M.-P. (Toim.) (2022). *Laaja-alainen osaaminen koulussa: Ajattelijana ja oppijana kehittyminen*. Gaudeamus.
- Hilander, M., & Tani, S. (2022). Meaningful encounters with the built environment as the basis for urban environmental education. *Education Sciences*, 12(3), 203. <https://doi.org/10.3390/educsci12030203>
- Hiltunen, J., Ahonen, A., Hienonen, N., Kauppinen, H., Kotila, J., Lehtola, P., Leino, K., Lintuvuori, M., Nissinen, K., Puhakka, E., Sirén, M., Vainikainen, M.-P., & Vettenranta, J. (2023). *PISA 2022 ensituloksia*. Opetus- ja kulttuuriministeriön julkaisuja, 49. [https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165295/OKM\\_2023\\_49.pdf?sequence=4](https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/165295/OKM_2023_49.pdf?sequence=4)



- 
- Hiltunen, M. (2022). *Student teachers' talk during inquiry-based biology teaching*. Dissertations in Education, Humanities, and Theology, 193. [Väitöskirja, University of Eastern Finland].  
[https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/28741/urn\\_isbn\\_978-952-61-4713-0.pdf?sequence=1](https://erepo.uef.fi/bitstream/handle/123456789/28741/urn_isbn_978-952-61-4713-0.pdf?sequence=1)
- Hmelo-Silver, C. E., Marathe, S., & Liu, L. (2007). Fish swim, rocks sit, and lungs breathe: Expert-novice understanding of complex systems. *Journal of the Learning Sciences*, 16(3), 307–331.  
<https://doi.org/10.1080/10508400701413401>
- Hofer, B. K. (2019). Identifying the role of epistemic cognition and metacognition in conceptual change. Teoksessa T. G. Amin, & O. Levrini (Toim.), *Converging perspectives on conceptual change: Mapping an emerging paradigm in the learning sciences* (ss. 227–236). Routledge; Taylor Francis. <https://doi.org/10.4324/9781315467139-27>
- Hofer, B. K., & Sinatra, G. (2022). How to Prevent Science Denial: Tips for Biology Teachers. *The American Biology Teacher*, 84(9), 523–524. <https://doi.org/10.1525/abt.2022.84.9.523>
- Holbrook J., & Rannikmae M. (2011). *Guidebook for Providers of Continuous Professional Development within PROFILES*. University of Tartu.
- Hooper, D. U., Chapin III, F.S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J., & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning. *Ecological Monographs*, 75(1), 3–35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- Hooykaas, M. J. D., Schilthuizen M., Aten, C., Hemelaar E. M., Albers, C. J., & Smeets I. (2019). Identification skills in biodiversity professionals and laypeople: A gap in species literacy. *Biological Conservation*, 238, (108202). <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108202>
- Hovardas, T. (2016). Primary school teachers and outdoor education: Varying levels of teacher leadership in informal networks of peers. *The Journal of Environmental Education*, 47(3), 237–254.  
<https://doi.org/10.1080/00958964.2015.1113155>
- Huckle, J., & Wals, A. E. J. (2015). The UN decade of education for sustainable development: Business as usual in the end. *Environmental Education Research*, 21(3), 491–505.  
<https://doi.org/10.1080/13504622.2015.1011084>
- Huddy, L. (2001). From social to political identity: A critical examination of social identity theory. *Political Psychology*, 22(1), 127–156.  
<https://doi.org/10.1111/0162-895X.00230>

- Hudson, B., Gericke, N., Olin-Scheller, C., & Stolare, M. (2023) Trajectories of powerful knowledge and epistemic quality: analysing the transformations from disciplines across school subjects. *Journal of Curriculum Studies*, 55(2), 119–137. <https://doi.org/10.1080/00220272.2023.2182164>
- Hummel, E., & Randler, C. (2012). Living animals in the classroom: A meta-analysis on learning outcome and a treatment-control study focusing on knowledge and motivation. *Journal of Science Education and Technology*, 21(1), 95–105. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9285-4>
- Hungerford, H. R., & Volk, T. L. (1990). Changing learner behavior through environmental education. *Journal of Environmental Education*, 21(3), 8–21. <https://doi.org/10.1080/00958964.1990.10753743>
- Huusko, T., Hyytiäinen, N., Ihalainen, J., Koivula, H., & Korhonen, S. (2018). Kohti tuntematonta. Luma-oppimateriaali. <https://luma.uef.fi/category/oppiaineet/biologia/page/5/>
- Hynd, C. R. (2001). Refutational texts and the change process. *International Journal of Educational Research*, 35, 699–714. [https://doi.org/10.1016/S0883-0355\(02\)00010-1](https://doi.org/10.1016/S0883-0355(02)00010-1)
- Hämeen-Anttila, K., Vainio, K., & Hartikainen-Ahia, A. (2013). *Kokemuksia lasten lääkekasvatuksesta*. Lääkealan turvallisuus- ja kehittämiskeskus, Fimea. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-5624-28-1>
- Härmä, K. (2021). *Lukio-opiskelijoiden argumentaatiotaidot – kontekstina yhteiskunnalliset ympäristöaiheet maantieteen opetuksessa*. Publications of the University of Eastern Finland Dissertations in Education, Humanities, and Theology, 163. [Väitöskirja, University of Eastern Finland]. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-61-3691-2>
- Härmä, K., Kärkkäinen, S., & Jeronen, E. (2021). The Dramatic Arc in the Development of Argumentation Skills of Upper Secondary School Students in Geography Education. *Education Sciences*, 11(11), 734. <https://doi.org/10.3390/educsci11110734>
- Hätönen H., & Romppanen, B. (2007). *Arviointi ja palaute oppimisen ja kehityksen tukena*. Educa-instituutti.
- Illich, I. (1971). *Deschooling Society*. Harper and Row.
- Immordino-Yang, M. H., & Faeth, M. (2015). Role of emotion and skilled, intuition in learning. Teoksessa M. H. Immordino-Yang (Toim.), *Emotions, Learning, and the Brain. Exploring the Educational Implications of Affective Neuroscience* (ss. 67–81). Norton Professional Books.
- Inagaki K., & Hatano, G. (2013). Conceptual change in naïve biology. Teoksessa S. Vosniadou (Toim.), *International handbook of research on conceptual change* (2. p., ss. 195–219). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203154472>

- 
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2021). Climate change 2021, The physical science basis. Summary for policymakers. Teoksessa V. Masson-Delmotte, & P. Zhai (Toim.), *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change IPCC*. Cambridge University Press. Luettu Heinäkuu 6, 2024. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf)
- Irons, A. (2008). *Enhancing learning through formative assessment and feedback*. Routledge.
- Isaksen, S. G., Dorval, K. B., & Treffinger, D. J. (2011). *Creative Approaches to Problem Solving. A Framework for Innovation in Change* (3. p.). Sage Publications, Inc.
- Jaakkola, T., Nurmi, S., & Veermans, K. (2011). A comparison of students' conceptual understanding of electric circuits in simulation only and simulation-laboratory contexts. *Journal of Research In Science Teaching*, 48(1), 71–93. <https://doi.org/10.1002/tea.20386>
- James, J. K., & Williams, T. (2017). School-based experiential outdoor education: A neglected necessity. *Journal of Experiential Education*, 40(1), 58–71. <https://doi.org/10.1177/1053825916676190>
- Jameson, K. A., Satalich, T. A., Joe, K. C., Bochko, V. A., Atilano, S. R., & Kenney, M. C. (2020). *Human color vision and tetrachromacy*. Cambridge University Press.
- Jancaríková, K., & Jancarík, A. (2022). How to teach photosynthesis? A review of academic research. *Sustainability*, 14(20), 13529. <https://doi.org/10.3390/su142013529>
- Jansen, S., Knippels, M-C. P. J., & van Joolingen, W. R. (2019). Assessing students' understanding of models of biological processes: a revised framework. *International Journal of Science Education*, <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1582821>
- Jauhiainen, A. (2016). Mihin sukupuolihistoriaa tarvitaan kasvatus- ja aikuiskasvatustieteessä. *Aikuiskasvatus*, 36(3), 215–219. <https://doi.org/10.33336/aik.88502>
- Jax, K., Barton, D. N., Chan, K. M. A., de Groot, R., Doyle, U., Eser, U., Görg, C., Gómez-Baggethun, E., Griewald, Y., Haber, W., Haines-Young, R., Heink, U., Jahn, T., Joosten, H., Kerschbaumer, L., Korn, H., Luck, G. W., Matzdorf, B., ... Wichman, S. (2013). Ecosystem services and ethics. *Ecological Economics*, 93, 260–268. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.06.008>
- Jensen, B. B., & Schnack, K. (1997). The action competence approach in environmental education. *Environmental Education Research*, 3(2), 163–178. <https://doi.org/10.1080/13504620600943053>

- Jeronen, E. (2023a). Strong sustainability. Teoksessa S. O. Idowu, R. Schmidpeter, N. Capaldi, L. Zu, M. Del Baldo, & R. Abreu (Toim.), *Encyclopedia of Sustainable Management* (ss. 3189–3196). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25984-5\\_195](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25984-5_195)
- Jeronen, E. (2023b). Weak sustainability. Teoksessa S. O., Idowu, R. Schmidpeter, N. Capaldi, L. Zu, M. Del Baldo, & R. Abreu, (Toim.), *Encyclopedia of Sustainable Management* (ss. 3854 –3958). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25984-5\\_192](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25984-5_192)
- Jeronen, E. (2023c). Sustainable education. Teoksessa S. O. Idowu, R. Schmidpeter, N. Capaldi, L. Zu, M. Del Baldo, & R. Abreu (Toim.), *Encyclopedia of Sustainable Management*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-02006-4\\_237-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02006-4_237-1)
- Jeronen, E. (2023d). Education for sustainable development. Teoksessa S. O. Idowu, R. Schmidpeter, N. Capaldi, L. Zu, M. Del Baldo, & R. Abreu (Toim.), *Encyclopedia of Sustainable Management* (ss. 1274–1283). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25984-5\\_351](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25984-5_351)
- Jeronen, E. (2024). Sustainability. Teoksessa B. Warf (Toim.), *The Encyclopedia of Human Geography*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-25900-5\\_309-1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-25900-5_309-1)
- Jeronen, E., Ahonen, P., & Korkeamäki, R-L. (2022). Connections of transformative education with Bhutan’s pedagogical ideas for promoting sustainability education. *Sustainability*, 14, 163. <https://doi.org/10.3390/su14010163>
- Jeronen, E., & Helander, K. (2012). Kouluruokailun historiaa. Teoksessa H. Risku-Norja, E. Jeronen, S. Kurppa, M. Mikkola, & A. Uitto (Toim.), *Ruoka oppimisen edellytys ja opetuksen voimavara* (ss. 20–26). Helsingin yliopisto, Rurallia-instituutti, Julkaisuja, 25.
- Jeronen, E., Jeronen, J., & Raustia, H. (2009). Environmental education in Finland – A case study of environmental education in nature schools. *International Journal of Environmental & Science Education*, 4(1), 1–23.
- Jeronen, E., Keinonen, T., & Kärkkäinen, S. (2024). Visioning transformative science education for sustainability. *Discourse and Communication for Sustainable Education*, 15(1), 19–38. <https://doi.org/10.2478/dcse-2024-0003>.
- Jeronen, E., Palmberg, I., & Yli-Panula, E. (2017). Teaching methods in biology education and sustainability education including outdoor education for promoting sustainability—A literature review. *Education Sciences*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.3390/educsci7010001>
- Jickling, B., & Spork, H. (1998). Education for the environment: A critique. *Environmental Education Research*, 4(3), 309–327.

- 
- Jiménez Raya, M., Lamb, T., & Vieira, F. (2017). *Mapping autonomy in language education: A framework for learner and teacher development*. Peter Lang. <https://doi.org/10.3726/b11095>
- Jinek, M., Chylinski, K., Fonfara, I., Hauer, M., Doudna, J. A., & Charpentier, E. (2012). A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 337(6096), 816–821. <https://doi.org/10.1126/science.1225829>
- Johansen, A., Mogstad, E., Gajič, B., & Bungum, B. (2022). Incorporating creativity in science and mathematics teaching: Teachers' views on opportunities and challenges. *Nordic Studies in Science Education*, 18(1), 98–111, <https://doi.org/10.5617/nordina.8620>.
- Johnson, C. N., Balmford, A., Brook, B. W., Buettel, J., Galetti, M., Lei, G., & Wilmschurst, J. M. (2017). Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. *Science*, 356(6335), 270–275. <https://doi.org/10.1126/science.aam9317>
- Johnson, M., & Majevska, D. (2022). *Formal, non-formal, and informal learning: What are they, and how can we research them?* Cambridge University Press & Assessment Research Report.
- Johnson, M. L., & Bungum, T. (2013). Identifying and reconstructing a common cold misconceptions among developing K–12 educators. *American Journal of Health Education*, 44(3), 169–175. <https://doi.org/10.1080/19325037.2013.779901>
- Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental models in cognitive science. *Cognitive Science*, 4(1), 71–115. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog0401\\_4](https://doi.org/10.1207/s15516709cog0401_4)
- Johnson-Laird, P. N. (1983). A computational analysis of consciousness. *Cognition & Brain Theory*, 6(4), 499–508. [https://doi.org/10.1016/0010-0277\(83\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0010-0277(83)90017-5)
- Juuti, K. (2016). Dialoginen opetus. Teoksessa K. Juuti (Toim.). *Ympäristöoppia opettamaan* (ss. 161–174). PS-kustannus.
- Jönsson, A. (2016). Student performance on argumentation task in the Swedish National Assessment in science. *International Journal of Science Education*, 38(11), 1825–1840. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1218567>
- Kaasinen, A. (2009). *Kasvilajien tunnistaminen, oppiminen ja opettaminen yleisivistävän koulutuksen näkökulmasta*. Tutkimuksia, 306. HELDA – Helsingin yliopiston digitaalinen arkisto. [Väitöskirja, Helsingin yliopisto]. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-10-4987-3>
- Kaasinen, A. (2016a). Kasvien kerääminen – perinteisen opetusmenetelmän uusi tuleminen. Teoksessa K. Juuti (Toim.), *Ympäristöoppia opettamaan* (ss. 247–252). PS-kustannus.

- Kaasinen, A. (2016b). Maasto-opetusluonnon monimuotoisuuden arvostamisen perustana. Teoksessa K. Juuti (Toim.), *Ympäristöoppia opettamaan* (ss. 229–245). PS-kustannus.
- Kaasinen, A. (2019). Plant Species Recognition Skills in Finnish Students and Teachers. *Education Sciences*, 9(2), 85. <https://doi.org/10.3390/educsci9020085>
- Kaasinen, A. (2020). Ympäristökasvatus esi- ja alkuopetuksessa – löytöretkiä maailmaan. Teoksessa T. Kyrönlampi, K. Mäkitalo, & M. Uitto (Toim.), *Esi- ja alkuopetuksen käsikirja* (ss. 129–154). PS-kustannus.
- Kaasinen, A. & Aarnio-Linnanvuori, E. (2023). Biodiversiteettikasvatus. Teoksessa A. Kaasinen, & U. Myllyniemi (Toim.), *Ulkona opettamisen käsikirja* (ss. 167–176). PS-kustannus.
- Kaasinen, A., & Kervinen, A. (2019). TUTTU-Talvi. Teoksessa S. Lindholm, & H. Åström (Toim.), *TUTTU-hanke. Tutkimuksellinen ja toiminnallinen ulkonaoppiminen* (ss. 21–24). Opetushallitus. <https://blogs.helsinki.fi/tuttu-hanke/>
- Kaasinen, A., & Kervinen, A. (2023). Ulkona opettamisen historiaa. Teoksessa A. Kaasinen, & U. Myllyniemi (Toim.), *Ulkona opettamisen käsikirja* (ss. 108–117). PS-kustannus.
- Kaasinen, A. & Myllyniemi, U. (Toim.) (2023). *Ulkona opettamisen käsikirja*. PS-kustannus.
- Kahan, D. M. (2012). Cultural cognition as a conception of the cultural theory of risk. Teoksessa S. Roeser, R. Hillerbrand, P. Sandin, & M. Peterson, (Toim.), *Handbook of risk theory*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-1433-5\\_28](https://doi.org/10.1007/978-94-007-1433-5_28)
- Kahan, D. M. (2017). ‘Ordinary science intelligence’: A science-comprehension measure for study of risk and science communication, with notes on evolution and climate change. *Journal of Risk Research*, 20(8), 995–1016. <https://doi.org/10.1080/13669877.2016.1148067>
- Kahan, D. M., Braman, D., Cohen, G. L., Gastil, J., & Slovic, P. (2010). Who fears the HPV vaccine, who doesn't, and why? An experimental study of the mechanisms of cultural cognition. *Law and Human Behavior*, 34(6), 501–516. <https://doi.org/10.1007/s10979-009-9201-0>
- Kahn, R. (2003). Towards ecopedagogy: Weaving a broad-based pedagogy of liberation for animals, nature, and the oppressed people of the earth. *Journal of Critical Animal Studies*, 1, 36–53.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux.
- Kankaanranta, M., Mäkelä, T., & Fenyvesi, K. (2022). Luovuus ja innovatiivisuus opetuksessa ja oppimisessa. Teoksessa N. Heinonen, P. Nilivaara, M. Saarnio, & M.-P. Väinikainen (Toim.), *Laaja-alainen osaaminen koulussa. Ajattelijana ja oppijana kehittyminen* (ss. 68–80). Gaudeamus.

- 
- Kansanen, P. (1999). Teaching as teaching-studying-learning interaction. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 43(1), 81–89.
- Kansanen, P. (2009). Onko ainedidaktiikka koulupedagogiikkaa? Teoksessa A. Kallioniemi (Toim.), *Uudistuva ja kehittyvä ainedidaktiikka*. Osa 1 (ss. 19–32). Soveltavan kasvatustieteen laitoksen tutkimuksia, 298.
- Kapon, S., Laherto, A., & Levrini, O. (2018). Disciplinary authenticity and personal relevance in school science. *Science Education*, 102(5), 1077–1106. <https://doi.org/10.1002/sce.21458>
- Kapp, K., Sivén, M., Laurén, P., Aejmelaeus, M., Virtanen, S., Katajavuori, N., & Södervik, I. (2020). Learning of laboratory skills via augmented reality-case study in pharmacy. *EDULEARN20 Proceedings*, 7631–7638. IATED. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2020.1934>
- Kapp, K., Sivén, M., Laurén, P., Virtanen, S., Katajavuori, N., & Södervik, I. (2022). Design and usability testing of an augmented reality (AR) environment in pharmacy education — Presenting a pilot study on comparison between AR smart glasses and a mobile device in a laboratory course. *Education Sciences*, 12(12), 854. <https://doi.org/10.3390/educsci12120854>
- Karplus, R., & Thier, H. D. (1967). *A new look at elementary school science*. Rand McNally & Company.
- Kasa, T., & Kouros, K. (Toim.) (2020). *Perus- ja ihmisoikeudet opetus- ja kasvatusalalla. Oikeudellinen ja pedagoginen opas alan opiskelijoille ja asiantuntijoille*. Helsingin yliopisto, kasvatustieteellinen tiedekunta. <http://hdl.handle.net/10138/314105>
- Suomen kasvitieteelliset puutarhat (n.d.) Luettu 18.10.2024, <https://www.helsinki.fi/fi/luomus/suomen-kasvitieteelliset-puutarhat>
- Kaufman, D. R., Keselman, A., & Patel, V. L. (2008). Changing conceptions in medicine and health. Teoksessa S. Vosniadou (Toim.), *International handbook of research on conceptual change* (ss. 295–327). Routledge.
- Kawasaki, J., & Sandoval, A. W. (2019). The role of teacher framing in producing coherent NGSS-aligned teaching. *Journal of Science Teacher Education*, 30(8), 906–922. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2019.1657765>
- Kelemen, D. (2012). Teleological minds: How natural intuitions about agency and purpose influence learning about evolution. Teoksessa K. Rosengren, & E. M. Evans (Toim.), *Evolution challenges: Integrating research and practice in teaching and learning about evolution* (ss. 66–92). University Press.
- Keller, E. F. (2015). Cognitive functions of metaphor in the natural sciences. *Philinq*, 3(1), 113–132. <https://www.philing.it/index.php/philing/article/download/117/64>

- Kellert, S. (2002). Experiencing nature: Affective, cognitive and evaluative development in children. Teoksessa P. Kahn, & S. Kellert (Toim.), *Children and nature. Psychological, sociocultural and evolutionary investigations* (ss. 117–152). The MIT Press.
- Kendeou, P., & van den Broek, P. (2007). The effects of prior knowledge and text structure on comprehension processes during reading of scientific texts. *Memory & Cognition*, 35, 1567–1577. <https://doi.org/10.3758/BF03193491>
- Kenttälä, M. (Toim.). (2017). *Matka palvelumuotoiluun. Opas opettajille*. Kehittämiskeskus Opinkirjo ry.
- Kervinen, A., Hohti R., Rautio, P., Saari, M-H., Tammi, T., & Aivelo, T. (2024). Ratty places – unsettling human-centeredness in ecological inquiry with young people. *Environmental Education Research*, 30(7), 1129–1146. <https://doi.org/10.1080/13504622.2024.2314037>
- Kervinen, A., Portaankorva-Koivisto, P., Kesler, M., Kaasinen, A., Juuti, K., & Uitto, A. (2022). From pre- and in-service teachers’ asymmetric backgrounds to equal co-teaching: Investigation of a professional learning model. *Frontiers in Education*, 7, 919332. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.919332>
- Kervinen, A., Roth, W. M., Juuti, K., & Uitto, A. (2020a). “How stupid can a person be?” – Students coping with authoritative dimensions of science lessons. *Learning, Culture and Social Interaction*, 24, 100367. <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2019.100367>
- Kervinen, A., Roth, W. M., Juuti, K., & Uitto, A. (2020b). The resurgence of everyday experiences in school science learning activities. *Cultural Studies of Science Education*, 15(4), 1019–1045. <https://doi.org/10.1007/s11422-019-09968-1>
- Kervinen, A., Uitto, A., & Juuti, K. (2020c) How fieldwork-oriented biology teachers establish formal outdoor education practices. *Journal of Biological Education*, 54(2), 115–128. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1546762>
- Kervinen, A., Uitto, A., Portaankorva-Koivisto, P., Juuti, K., & Kesler, M. (2016). Developing a collaborative model in teacher education – An overview of a teacher professional development project. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 4(2), 67–86. <http://lumat.fi/index.php/lumat/article/view/33/25>.
- Kesler, M. (2015). *Ideasta ratkaisuun 2 – virikkeitä luovaan ongelmanratkaisuun opetuksessa*. Kehittämiskeskus Opinkirjo ry.
- Kesler, M. (2020). *Opettaja luovan ongelmanratkaisun prosessin ohjaajana*. Kasvatustieteellisiä tutkimuksia, 105. Yliopistopaino Unigrafia. [Väitöskirja, Helsingin yliopisto]. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-51-6892-4>



- 
- Kesler, M., Ahola, L., Viitanen, P., Ilvessalmi, A., Makkonen, T., Ampuja, A., Penttilä, A. M. E., Karpin, T., Jauhiainen, J., Heikkinen, M., Kärkkäinen, T., Myllyviita, A., Ranta-aho, T. J., & Unkuri, M. (2022). Projektioppimisen suunnittelu. Teoksessa K. Juuti, J. Lavonen, & K. Salmela-Aro (Toim.), *Projektioppiminen luonnontieteissä* (ss. 169–193). Gaudeamus. <https://doi.org/10.31885/9789523458437>
- Kesler, M., Kervinen, A., Kaasinen, A., Portaankorva-Koivisto, P., Juuti, K., & Uitto, A. (2019). *Innostu tutkimaan ja kokeilemaan yli oppiainerajojen! - Ideoita opetukseen LumaLähetit -hankkeesta*. Helsingin yliopisto. <http://doi.org/10.31885/9789515149824>
- Kesler, M., & Kärnä, P. (2021). Oppilaskeskeisyys luonnontieteiden tutkivan oppimisen opetustuokioissa opettajien kertomana. Teoksessa R. Hildén, P. Portaankorva-Koivisto, & T. Mäkipää (Toim.), *Aineenopetus ja aineenopetus* (ss. 200–216). Ainedidaktisia tutkimuksia, 20. <http://hdl.handle.net/10138/340235>
- Kestävyyspaneeeli (2020). Kuusi polkua kestävyteen: Evästyksen systemisen kestävyysmurroksen edistämiseksi Suomessa. Kestävyyspaneeelin julkaisuja, 1. Luettu Maaliskuu 4, 2024, [https://www.kestavyyspaneeeli.fi/wp-content/uploads/sites/41/2020/02/Kuusi-polkua-kestavyteen\\_julkaisu2020.pdf](https://www.kestavyyspaneeeli.fi/wp-content/uploads/sites/41/2020/02/Kuusi-polkua-kestavyteen_julkaisu2020.pdf)
- Kiers, T., Duhamel, M., Beesetty, Y., & Mensah, J. (2011). Reciprocal rewards stabilize cooperation in the mycorrhizal symbiosis. *Science*, 333(6044), 880–882. <https://doi.org/10.1126/science.1208473>
- Kinchin, I. M. (2000). Concept mapping in biology. *Journal of Biological Education*, 34(2), 61–68. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655687>
- Kiviluoma, T., & Södervik, I. (painossa). Evoluutiota koskeva lähtötaso ja ymmärryksen kehittymisen moninaiset polut biotieteiden yliopisto-opinnoissa. Ainedidaktisia tutkimuksia.
- Klafki, W. (2000). Didaktik analysis as the core of preparation of instruction. Teoksessa I. Westbury, S. Hopmann, & K. Riquarts (Toim.), *Teaching as a Reflective Practice: The German Didaktik Tradition* (ss.139–159). Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Klarin, T. (2018). The concept of sustainable development: From its beginning to the contemporary issues. *Zagreb International Review of Economics and Business*, 21(1), 67–94. <https://doi.org/10.2478/zireb-2018-0005>
- Kneupper, C. W. (1978). Teaching argument: An introduction to the Toulmin model. *College Composition and Communication*, 29(3), 237–241. <https://doi.org/10.2307/356935>
- Knight, A. (2011). *The costs and benefits of animal experiments*. The Palgrave Macmillan Animal Ethics Series. Palgrave Macmillan.

- Knippels, M.-C. P. J., Severiens, S. E., & Klop, T. (2009). Education through fiction: Acquiring opinion-forming skills in the context of genomics. *International Journal of Science Education*, 31(15), 2057–2083. <https://doi.org/10.1080/09500690802345888>
- Kokkonen, T. (2017). *Concepts and concept learning in physics: The systemic view*. [Väitöskirja, University of Helsinki] <http://hdl.handle.net/10138/228478>
- Kokkonen, T., & Laherto, A. (2018). Tiedeopetuksen muuttuvat tavoitteet – Sisältötiedosta luonnontieteelliseen lukutaitoon. *Ainedidaktiikka*, 2(1), 20–38. <https://doi.org/10.23988/ad.69250>
- Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the gap: Why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior? *Environmental Education Research*, 8(3), 239–260. <https://doi.org/10.1080/13504620220145401>
- Kontkanen, J., Kärkkäinen, S., Dillon, P., Hartikainen-Ahia, A., & Åhlberg, M. (2016). Collaborative processes in species identification using an internet-based taxonomic resource. *International Journal of Science Education*, 38(1), 96–115. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2015.1129469>
- Kopnina, H., & Cherniak, B. (2015). Cultivating a value for non-human interests through the convergence of animal welfare, animal rights, and deep ecology in environmental education. *Education Sciences*, 5(4), 363–379. <https://doi.org/10.3390/educsci5040363>
- Korhonen, T., & Kangas, K. (Toim.) (2020). *Keksimisen pedagogiikka*. PS-kustannus.
- Korpela, K. (2007) Luontoympäristöt ja hyvinvointi. *Psykologia*, 42, 364–376.
- Korpela, K., Ylén, M., Tyrväinen, L., & Silvennoinen, H. (2009). Stability of self-reported favourite places and place attachment over a 10-month period. *Journal of Environmental Psychology*, 29, 95–100. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2008.05.008>
- Krajcik, J., & Shin, N. (2015). Project-based learning. Teoksessa K. Sawyer (Toim.), *The Cambridge Handbook of the Learning Science* (2. p., ss. 275–297). Cambridge University Press.
- Krapp, A. (2007). An educational-psychological conceptualisation of interest. *International Journal for Educational and Vocational Guidance*, 7, 5–21. <https://doi.org/10.1007/s10775-007-9113-9>
- Krathwohl, D. R. (2002). A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212–218. [https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104\\_2](https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2)
- Krebs, A. (1999). *Ethics of nature: a map. Perspectives in analytical philosophy* 22. De Gruyter.

- 
- Kuisma, M., & Ratinen, I. (2021). Students' narratives and conceptual changes in a cross-curricular inquiry-based study unit in a Finnish upper secondary school. *International Journal of Educational Research*, 110, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2021.101889>
- Kuhn, T. (1962). *The structure of scientific revolutions*. University of Chicago Press. Suom. K. Pietiläinen (1994). Tieteellisten vallankumousten rakenne. Helsinki: Art House.
- Kunda, Z. (1990). The case for motivated reasoning. *Psychological Bulletin*, 108(3), 480–498.
- Kunnan, A. J. (2000). *Studies in language testing 9: Fairness and validation in language assessment*. Selected papers from the 19th Language Testing Research Colloquium, Orlando, Florida. Cambridge University Press.
- Kuo, M., Barnes, M., & Jordan, C. (2019). Do experiences with nature promote learning? Converging evidence of a cause-and-effect relationship. *Frontiers in Psychology*, 10, 305. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00305>
- Kupias, P., Peltola, R., & Saloranta, P. (2011). *Onnistu palautteessa*. WSOYpro.
- Kurki, L., & Tomperi, T. (2011). *Väittely opetusmenetelmänä. Kriittisen ajattelun, argumentaation ja retoriikan taidot käytännössä. Ajattelutaidot*. Eurooppalaisen filosofian seura ry / niin & näin.
- Kuschmierz, P., Beniermann, A., Bergmann, A., Pinxten, R., Aivelo, T., Berniak-Woźny, J., Bohlin, G., Bugallo-Rodriguez, A., Cardia, P., Cavadas, B. F. B. P., Cebesoy, U. B., Cvetković, D. D., Demarsy, E., Đorđević, M. S., Drobnik, S. M., Dubchak, L., Dvořáková, R. M., Fančovičová, J., ... Graf, D. (2021). European first-year university students accept evolution but lack substantial knowledge about it: A standardized European cross-country assessment. *Evolution: Education and Outreach*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s12052-021-00158-8>
- Kyburz-Graber, R., Hofer, K., & Wolfensberger, B. (2006). Studies on a socio-ecological approach to environmental education: A contribution to a critical position in the education for sustainable development discourse. *Environmental Education Research*, 12(1), 101–114. <https://doi.org/10.1080/13504620500527840>
- Kyere, J. (2017). *Effectiveness of hands-on pedagogy in STEM education*. Walden Dissertations and Doctoral Studies. 2932. [Väitöskirja, Walden University]. <https://scholarworks.waldenu.edu/dissertations/2932>
- Käpylä, M. (1995). Ympäristökasvatus koulun oppimis- ja tiedonkäsitteksen muuttamisen välineenä. Teoksessa S. Ojanen, & H. Rikkinen (Toim.), *Opettaja ympäristökasvattajana* (ss. 24–39). WSOY.

- Kärkkäinen, S., Hartikainen-Ahia, A., Elorinne, A. L., Hokkanen, J., & Hämeen-Anttila, K. (2019). Adolescents' learning and experiences of solving the need for dietary supplementation through socioscientific issue (SSI) method. *Health Education, 119*(2), 165–176. <https://doi.org/10.1108/HE-01-2019-0002>
- Kärkkäinen, S., Kukkonen, J., Kontturi, S., & Keinonen, T. (2018). Promoting health literacy: sixth graders working in partnership with the local pharmacy. *Health Education, 118*(6), 470–482. <https://doi.org/10.1108/HE-01-2018-0004>
- Kärnä, P., Hakonen, R., & Kuusela, J. (2012). Luonnontieteellinen osaaminen perusopetuksen 9. luokalla 2011. *Koulutuksen seurantaraportti, 2*. Opetushallitus. Juvenes Print; Tampereen yliopistopaino Oy.
- Laasonen-Tervaoja, E., Jokikokko, K., & Stevenson, J. (Toim.) (2021). Opas opettajalle kulttuurisen moninaisuuden huomioimiseen perusopetuksessa. *KuTiMat*, <https://www.opi.fi/sites/default/files/documents/OpeOpas-KuTiMat%20%281%29.pdf>
- Laherto, A. (2020). Luonnontiedekasvatuksen muuttuvat tavoitteet: Luonnontieteellisestä lukutaidosta kestävyyskasvatukseen, toimijuuteen ja tulevaisuusajatteluun. *Ainedidaktikka, 4*(3), 41–63. <https://doi.org/10.23988/ad.91998>
- Laherto, A., Rasa, T., Miani, L., Levrini, O., & Erduran, S. (2023). Future-Oriented Science Education Building Sustainability Competences: An Approach to the European GreenComp Framework. Teoksessa X. Fazio (Toim.), *Science Curriculum for The Anthropocene, Volume 2: Curriculum Models for our Collective Future* (pp. 83-105). Palgrave Macmillan, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-37391-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-37391-6_5)
- Laininen, E. (2019). Transforming our worldview towards a sustainable future. Teoksessa J. W. Cook (Toim.), *Sustainability, human well-being, and the future of education* (ss. 161–200). Sitra. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-78580-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-78580-6_5)
- Lammela, P., Lappalainen, M., Norvanto, T., Oinonen, P., Piiparinen, S., Siltari, E., & Tuohela, K. (2000). *Palautteet puntarissa. Opintosuoritukset ja kirjallinen palaute*. Turun yliopisto.
- Lappalainen, A. (2003). *Biologian oppiminen 2000-luvulla. Osa 1, Harjoitustöitä*. Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos.
- Larkin, D. B., & Perry-Ryder, G. M. (2015). Without the light of evolution: A case study of resistance and avoidance in learning to teach high school biology. *Science Education, 99*, 549–576. <https://doi.org/10.1002/sce.21149>
- Lauro, B. (2012). Endangered Species & Biodiversity: A classroom project & theme. *The American Biology Teacher, 74*(2), 114–116. <https://doi.org/10.1525/abt.2012.74.2.10>

- 
- Lavazza, A. (2016). Free will and neuroscience: from explaining freedom away to new ways of operationalizing and measuring it. *Frontiers in Human Neuroscience* 10(262). <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00262>
- Lavie Alon, N., & Tal, T. (2017). Field trips to natural environments: How outdoor educators use the physical environment. *International Journal of Science Education, Part B*, 7(3), 237–252. <https://doi.org/10.1080/21548455.2016.1250291>
- Lavonen, J., & Juuti, K. (2022). Mitä on projektioppiminen? Teoksessa K. Juuti, J. Lavonen, & K. Salmela-Aro (Toim.), *Projektioppiminen luonnontieteissä* (ss. 97–123). Gaudeamus. <https://doi.org/10.31885/9789523458437>
- Lavonen, J., & Salmela-Aro, K. (2022). Experiences of moving quickly to distance teaching and learning at all levels of education in Finland. Teoksessa F. Reimers (Toim.), *Primary and Secondary Education During Covid-19* (ss. 105–123). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81500-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81500-4_4)
- Lederman, N. G., Antink, A., & Bartos, S. (2014). Nature of science, scientific inquiry, and socio-scientific issues arising from genetics: A pathway to developing a scientifically literate citizenry. *Science & Education*, 23(2), 285–302. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9503-3>
- Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2019). Teaching and learning nature of scientific knowledge: Is it Déjà vu all over again? *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research* 1(6). <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0002-0>
- Lee, Y. C., & Grace, M. (2010). Students' reasoning processes in making decisions about an authentic, local socio-scientific issue: Bat conservation. *Journal of Biological Education*, 44(4), 156–165. <https://doi.org/10.1080/00219266.2010.9656216>
- Lehesvuori, S., Ratinen, I., Kulhomäki, O., Lappi, J., & Viiri, J. (2011). Enriching primary student teachers' conceptions about science teaching: Towards dialogic inquiry-based teaching. *Nordic Studies in Science Education*, 7(2), 140–159. <https://doi.org/10.5617/nordina.235>
- Lehtinen, A., Lehesvuori, S., & Viiri, J. (2017). The connection between forms of guidance for inquiry-based learning and the communicative approaches applied—a case study in the context of pre-service teachers. *Research in Science Education*, 49, 1547–1567. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9666-7>
- Lehtinen, E., Lehtinen, H., & Brezovszky, B. (2014). Matematiikka pelissä. Teoksessa L. Krokfors, M. Kangas, & K. Kopisto (Toim.), *Oppiminen pelissä – pelit ja pelilliset ympäristöt opetuksessa* (ss. 38–55). Vastapaino.
- Lehtinen, E., Vauras, M., & Lerkkanen, M.-K. (2016). *Kasvatustieteiden tutkimus* (3. p.). PS-kustannus.

- Lehtonen, J. (2010). ”Kaikki kuvatkin on sellaisia: isä, äiti ja lapsi”: Heteronormatiivisuus eri koulutusasteilla. Teoksessa M. Suortamo, L. Tainio, E. Ikävalko, T. Palmu, & S. Tani (Toim.), *Sukupuoli ja tasa-arvo koulussa* (ss. 87–110). PS-kustannus.
- Leirikoulu yhdistys (n.d.). Leirikoulukeskukset. Luettu Maaliskuu 4, 2024, <http://www.leirikoulu.info/fi/leirikoulukeskukset>.
- Lemke, J. (2011). The secret identity of science education: Masculine and politically conservative? *Cultural Studies of Science Education*, 6(2), 287–292. <https://doi.org/10.1007/s11422-011-9326-6>
- Lempiäinen, K. (2003). *Sosiologian sukupuoli*. Vastapaino.
- Lennox, J. G., & Kampourakis, K. (2013). Biological teleology: The need for history. Teoksessa T. Kampourakis, (Toim.), *The philosophy of biology. history, philosophy and theory of the life sciences* (vol 1., ss. 421–454). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6537-5\\_20](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6537-5_20)
- Leonard, B. (2010). Controversial issues in biology education? You bet! Here are some. *The American Biology Teacher*, 72(7), 407–407. <https://doi.org/10.1525/abt.2010.72.7.3>
- Levinson, R. (2006). Towards a theoretical framework for teaching controversial socio-scientific issues. *International Journal of Science Education*, 28(10), 1201–1224. <https://doi.org/10.1080/09500690600560753>
- Levy, B., Babb-Guerra, A., Batt, L. M., & Owczarek, W. (2019). Can education reduce political polarization? Fostering open-minded political engagement during the legislative semester. *Teachers College Record*, 121(5), 1–40. <https://doi.org/10.1177/016146811912100503>
- Lewalter, D., Gegenfurtner, A., & Renninger, K. (2021). Out-of-school programs and interest: Design considerations based on a meta-analysis. *Educational Research Review*, 34, 100406. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100406>
- Lewis, C. M., & Vassos, E. (2020). Polygenic risk scores: From research tools to clinical instruments. *Genome Medicine*, 12(1), 44. <https://doi.org/10.1186/s13073-020-00742-5>
- Lewis, J., & Leach, J. (2006). Discussion of socio-scientific issues: The role of science knowledge. *International Journal of Science Education*, 28(11), 1267–1287. <https://doi.org/10.1080/09500690500439348>
- Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11, 357–380. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(00\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(00)00037-2)
- Limón, M., & Mason, L. (2002). Prologue. Teoksessa M. Limón & L. Mason (Toim.), *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice* (ss. xv–xx). Kluwer Academic.

- 
- Lin, Y. C., Liang, J. C., & Tsai, C. C. (2012). Relationships between epistemic beliefs in biology and approaches to learning biology among biology-major university students in Taiwan. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 796–807. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9367-y>
- Lindblom-Ylänne, S., Mikkonen, J., Heikkilä, A., Parpala, A., & Pyhältö, K. (2009). Oppiminen yliopistossa. Teoksessa S. Lindblom-Ylänne, & A. Nevgi (Toim.), *Yliopisto-opettajan käsikirja* (ss. 70–99). WSOY.
- Lindblom-Ylänne, S., & Nevgi, A. (2002). *Yliopisto ja korkeakouluopettajan käsikirja*. WSOY.
- Lindemann-Matthies, P. (2011). Loveable' mammals and 'lifeless' plants: how children's interest in common local organisms can be enhanced through observation of nature. *International Journal of Science Education*, 27(6), 655-677. <https://doi.org/10.1080/09500690500038116>
- Lindemann-Matthies, P., Constantinou, C., Junge, X., Köhler, K., Mayer, J., Nagel, U., Raper, G., Schüle, D., & Kadji-Beltran, C. (2009). The integration of biodiversity education in the initial education of primary school teachers: four comparative case studies from Europe. *Environmental Education Research*, 15(1), 17–37. <https://doi.org/10.1080/13504620802613496>
- Lindgren, T. (2020). The figuration of the posthuman child. *Discourse: Studies in the Cultural Politics of Education*, 41(6), 914–925. <https://doi.org/10.1080/01596306.2019.1576589>
- Lloyd, R., Neilson, R., King, S., & Dyball, M. (2012). *Review of informal Science learning*. Wellcome Trust.
- Lock, R. (2010). Biology fieldwork in schools and colleges in the UK: An analysis of empirical research from 1963 to 2009. *Journal of Biological Education*, 44(2), 58–64. <https://doi.org/10.1080/00219266.2010.9656195>
- Lotz-Sisitka, H., Wals, A. E., Kronlid, D., & McGarry, D. (2015). Transformative, transgressive social learning: Rethinking higher education pedagogy in times of systemic global dysfunction. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 16, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.07.018>
- Luehmann, A., & Markowitz, D. (2007). Science teacher's perceived benefits of an out-of-school enrichment programme: Identity needs and university affordances. *International Journal of Science Education*, 29(9), 1133–1161. <https://doi.org/10.1080/09500690600944429>
- Lukkarinen, I., & Uitto, A. (2019). Opettajien ja oppilaiden kokemuksia pelillisydestä ja ulkona oppimisesta: Ihan pihalla! -hankkeen arviointi 2016–2018. *Suomen ympäristökeskuksen raportteja 17*. Suomen ympäristökeskus. <http://hdl.handle.net/10138/301672>
- Lundholm, C. (2019). Where to look and what to do? Blank and bright spots in research on environmental and climate change education. *Environmental Education Research*, 25(10), 1427–1437. <https://doi.org/10.1080/13504622.2019.1700066>

- LUOMUS, Luonnontieteellinen keskusmuseo (n.d.). Luettu Huhtikuu 15, 2024, <https://www.helsinki.fi/fi/luomus>.
- Luontokoulut. (2015). Oppimaan koulun ulkopuolelle. Luettu Maaliskuu 4, 2024, [https://www.luontokoulut.fi/wp/wp-content/uploads/2018/11/Oppimaankoulunulkopuolelle15\\_10\\_2015.pdf](https://www.luontokoulut.fi/wp/wp-content/uploads/2018/11/Oppimaankoulunulkopuolelle15_10_2015.pdf)
- Lynagh, M., Gilligan, C., & Handley, T. (2010). Teaching about, and dealing with, sensitive issues in schools: How confident are pre-service teachers? *Asia-Pacific Journal of Health, Sport and Physical Education*, 1(3–4), 5–11. <https://doi.org/10.1080/18377122.2010.9730332>
- Lyon, E. G. (2013). Learning to assess science in linguistically diverse classrooms: Tracking growth in secondary science preservice teachers' assessment expertise. *Science Education*, 97, 442–467. <https://doi.org/10.1002/sce.21059>
- Machery, E. (2009). *Doing without concepts: Why Cognition Is Not Unified*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195306880.001.0001>
- Makransky, G., Borre-Gude, S., & Mayer, R. E. (2019). Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments. *Journal of Computer Assisted Learning*. <https://doi.org/10.1111/jcal.12375>
- Mappa (n.d.) <https://mappa.fi/>
- Marchant, E., Todd, C., Cooksey, R., Dredge, S., Jones, H., Reynolds, D., Stratton, G., Russell, D., Lyons, R., & Brophy, S. (2019). Curriculum-based outdoor learning for children aged 9-11: A qualitative analysis of pupils' and teachers' views. *PLoS One*, 14(5), e0212242. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212242>
- Mason, L., & Zaccoletti, S. (2020). Inhibition and conceptual learning in science: A review of studies. *Educational Psychology Review*, 33, 181–212. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09529-x>
- Masson, S., Potvin, P., Riopel, M., Foisy, L. M. B., & Lafortune, S. (2012). Using fMRI to study conceptual change: Why and how? *International Journal of Environmental and Science Education*, 7(1), 19–35.
- Mastrantonio, M. (2023). Kindness as the social bond and the education for the future. *Net Journal of Social Sciences*, 11(3), 111–123, <https://doi.org/10.30918/NJSS.113.23.040>
- Matikainen, P. (1995). Ympäristökasvatus luokan- ja aineenopettajankoulutuksessa. Teoksessa S. Ojanen, & H. Rikkinen (Toim.), *Opettaja ympäristökasvattajana* (ss. 198–209). WSOY.
- Mayer, F. S., & McPherson Frantz, C. (2004). The connectedness to nature scale: A measure of individuals' feeling in community with nature. *Journal of Environmental Psychology*, 24, 503–515. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2004.10.001>



- 
- Mayr, E. (1993). Proximate and ultimate causation. *Biology and Philosophy*, 8, 95–98.
- Mayr, E. (1997). *This is biology: The science of the living world*. Belknap Press.
- Mayr, E. (2004). *What makes biology unique?: Considerations on the autonomy of a scientific discipline*. Cambridge University Press.
- McClintock, B. (1931). The Order of the genes C, Sh and Wx in Zea Mays with reference to a cytologically known point in the chromosome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 17(8), 485–491.
- McLure, F., Won, M., & Treagust, D. F. (2020). Students' understanding of the emergent processes of natural selection: The need for ontological conceptual change. *International Journal of Science Education*, 42(9), 1485–1502. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1767315>
- McMahon, K. (2012). Case studies of interactive whole-class teaching in primary science: Communicative approach and pedagogic purposes. *International Journal of Science Education*, 34(11), 1687–1708. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.702360>
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., & Behrens III, W. W. (1972). *The Limits to Growth. A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. Universe Books.
- Menzel, S., & Bögeholz, S. (2009). The loss of biodiversity as a challenge for sustainable development: How do pupils in Chile and Germany perceive resource dilemmas? *Research in Science Education*, 39, 429–447. <https://doi.org/10.1007/S11165-008-9087-8>
- Mercer-Mapstone, L., & Kuchel, L. (2017). Core skills for effective science communication: A teaching resource for undergraduate science education. *International Journal of Science Education, Part B*, 7(2), 181–201. <https://doi.org/10.1080/21548455.2015.1113573>
- Mercier, H. (2018). Reasoning and argumentation. Teoksessa V. A. Thompson, & L. V. Ball, (Toim.), *International Handbook of Thinking & Reasoning* (ss. 401–414). Psychology Press.
- Mercier, H., & Sperber, D. (2017). *The enigma of reason*, Harvard University Press.
- Merenluoto, K., & Lehtinen, E. (2002). Conceptual change in mathematics: Understanding real numbers. Teoksessa M. Limón, & L. Mason (Toim.), *Reconsidering conceptual change. Issues in theory and practice* (ss. 233–258). Kluwer.
- Merenluoto, K., & Lehtinen, E. (2004). Number concept and conceptual change: Towards a systemic model of the processes of change. *Learning and Instruction*, 14(5), 519–534. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.016>

- Messick, S. (1989). Validity. Teoksessa R. Linn (Toim.), *Educational Measurement* (ss. 13–103). Macmillan.
- Mezirow, J. (1978). Perspective transformation. *Adult Education*, 28, 100–110.
- Mezirow, J. (1991). *Transformative dimensions of adult learning*. Jossey-Bass.
- Mezirow, J. (1997). Transformative learning: Theory to practice. *New Directions for Adult and Continuing Education*, 74, 5–12.
- Mezirow, J. (2000a). Learning to think like an adult, core concepts of transformation theory. Teoksessa J. Mezirow (Toim.), *Learning as transformation. Critical perspectives on a theory in progress* (ss. 3–33). Jossey-Bass.
- Mezirow, J. (2000b). *A guide to transformative and emancipatory learning. Critical reflection 1. 'How critical reflection triggers transformative learning'*. Jossey-Bass.
- Michael, J. A., Wenderoth, M. P., Modell, H. I., Cliff, W., Horwitz, B., McHale, P., Richardson, D., Silverthorn, D., Williams, S., & Whitescarver, S. (2002). Undergraduates' understanding of cardiovascular phenomena. *Advances in Physiology Education*, 26, 72–84. <https://doi.org/10.1152/advan.00002.2002>
- Michaelis, L., & Menten, M. L. (1913). Die kinetik der invertinwirkung. The kinetics of invertin action. *Biochemische Zeitschrift*, 49(17), 333–369.
- Michel, A. (1986). *Down with stereotypes! Eliminating sexism from children's literature and school textbooks*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000070590>
- Mikkilä-Erdmann, M. (2001). Improving conceptual change concerning photosynthesis through text design. *Learning and Instruction*, 11, 241–257. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(00\)00041-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(00)00041-4)
- Mill, J. S. (1874, 2006). Nature. Teoksessa J. S. Mill (Kirjoittaja), *Nature, The Utility of Religion and Theism* (2. p., ss. 3–65). Longmans, Green, Reader, and Dyer. <https://archive.org/details/a592828200milluoft/page/n7/mode/2up>
- Mintzes, J. J., Wandersee, J. H., & Novak, J. D. (2001). Assessing understanding in biology. *Journal of Biological Education*, 35(3), 118–124. <https://doi.org/10.1080/00219266.2001.9655759>
- Misco, T., & Tseng, J. H. (2017). "I will not mention controversial issues unless they are in the textbook": An exploration of curriculum instructional gatekeeping in Taiwan. *Journal of Social Studies Research*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jssr.2017.01.005>
- Mogensen, F., & Schnack, K. (2010). The action competence approach and the 'new' discourses of education for sustainable development, competence and quality criteria. *Environmental Education Research*, 16(1), 59–74. <https://doi.org/10.1080/13504620903504032>

- 
- Mogren, A. (2019). *Guiding principles of transformative education for sustainable development in local school organisations - Investigating whole school approaches through a school improvement lens*. Karlstad University Studies, 33. [Väitöskirja, Karlstad University].  
<https://kau.diva-portal.org/smash/get/diva2:1368940/FULLTEXT01.pdf>
- Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 675–698. <https://doi.org/10.1002/tea.20314>
- Mononen, M., Havu-Nuutinen, S., & Haring, M. (2023). Student teachers' experiences in teaching practice using team teaching in flexible learning space. *Teaching and Teacher Education*, 125, 104069. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2023.104069>
- Moore, R., & Kraemer, K. (2005). The teaching of evolution & creationism in Minnesota. *The American Biology Teacher*, 65, 457–466. [https://doi.org/10.1662/0002-7685\(2005\)067\[0457:TTOECI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1662/0002-7685(2005)067[0457:TTOECI]2.0.CO;2)
- Morandín-Ahuerma, I., Contreras-Hernández, A., Ayala-Ortiz, D. A., & Pérez-Maqueo, O. (2019). Socio-ecosystemic sustainability. *Sustainability*, 11, 3354. <https://doi.org/10.3390/su11123354>
- Morange, M. (2021). *A history of biology*. Princeton University Press.
- Morrison, J. A., & Lederman, N. G. (2003). Science teachers' diagnosis and understanding of students' preconceptions. *Science education*, 87(6), 849–867. <https://doi.org/10.1002/sce.10092>
- Mortimer, E. F., & Scott, P. H. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Open University Press.
- Mulà, I., Cebrián, G., & Junyent, M. (2022). Lessons learned and future research directions in educating for sustainability competencies. Teoksessa P. Vare, N. Lausset, & M. Rieckmann, (Toim.), *Competences in education for sustainable development, Critical perspectives. Sustainable Development Goals Series* (ss. 185–194). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-91055-6\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-030-91055-6_22)
- Muller, J., & Young, M. (2019). Knowledge, power and powerful knowledge revisited. *The Curriculum Journal*, 30, 196–214. <https://doi.org/10.1080/09585176.2019.1570292>
- Murnikov, V., & Kask, K. (2021). Recall accuracy in children: Age vs. conceptual thinking. *Frontiers in Psychology*, 12, 686904. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.686904>
- Murtonen, M., Nokkala, C., & Södervik, I. (2018). Challenges in understanding meiosis: Fostering metaconceptual awareness among university biology students. *Journal of Biological Education*, 54(1), 3–16. <https://doi.org/10.1080/00219266.2018.1538016>

- Mutanen, J., & Uitto, A. (2020). Make biology relevant again! Pre-service teachers' views on the relevance of biology education. *Journal of Biological Education*, 54(2), 202–212. <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1739423>
- Mykrä, N. (2021). *Peruskoulu ekologista kestävyyttä edistämässä - Toiminnanteoreettinen tutkimus koulun monitasoisesta muutoshasteesta*. Tampereen yliopiston väitöskirjat, 384. PunaMusta Oy – Yliopistopaino. [Väitöskirja, Tampereen yliopisto]. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-1878-9>
- Mykrä, N. (2023). Ecological sustainability and steering of Finnish comprehensive schools. Teoksessa M. Thrupp, P. Seppänen, J. Kauko, & S. Kosunen (Toim.), *Finland's famous education system. Unvarnished insights into Finnish schooling* (ss. 87–104). Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-8241-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-19-8241-5_6)
- Nagatsu, M., Davis, T., DesRoches, C. T., Koskinen, I., MacLeod, M., Stojanovic, M., & Thoren, H. (2020). Philosophy of science for sustainability science. *Sustainability Science*, 15(6), 1807–1817. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00832-8>
- NASDTEC (National Association of State Directors of Teacher Education and Certification) (2021). Model code of ethics for educators (MCEE). [https://www.nasdtec.net/page/MCEE\\_Doc](https://www.nasdtec.net/page/MCEE_Doc)
- Navarro-Perez, M., & Tidball, K. G. (2012). Challenges of biodiversity education: A review of education strategies for biodiversity education. *International Electronic Journal of Environmental Education*, 2, 13–30.
- Neher-Asylbekov, S., & Wagner, I. (2023). Effects of outofschool STEM learning environments on student interest: a critical systematic literature review. *Journal for STEM Education Research*, 6, 1–44. <https://doi.org/10.1007/s41979-022-00080-8>
- Nehm, R. H., & Young, R. (2008). “Sex Hormones” in secondary school biology textbooks. *Science & Education*, 17(10), 1175–1190. <https://doi.org/10.1007/s11191-008-9137-7>
- Neimanis, A. (2014). Alongside the right to water, a posthumanist feminist imaginary. *Journal of Human Rights and the Environment*, 5(1), 5–24. <https://doi.org/10.4337/jhre.2014.01.01>
- Neuvonen, M., Lankia, T., Kangas, K., Koivula, J., Nieminen, M., Sepponen, A.-M., Store, R., & Tyrväinen, L. (2022). Luonnon virkistyskäyttö 2020. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus*, 41. Luonnonvarakeskus. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-429-6>
- Nevgi, A., & Lindblom-Ylänne, S. (2009). Oppimisen arvioinnin teoriaa ja käytäntöä. Teoksessa S. Lindblom-Ylänne & A. Nevgi (Toim.), *Yliopistopettajan käsikirja* (ss. 138–191). WSOY.

- 
- Newman, D. L., Stefkovich, M., Clasen, C., Franzen, M. A., & Wright, L. K. (2018a). Physical models can provide superior learning opportunities beyond the benefits of active engagements. *Biochemistry and molecular biology education*, 46(5), 435–444. <https://doi.org/10.1002/bmb.21159>
- Newman, T. P., Nisbet, E. C., & Nisbet, M. C. (2018b). Climate change, cultural cognition, and media effects: Worldviews drive news selectivity, biased processing, and polarized attitudes. *Public Understanding of Science*, 27(8), 985–1002. <https://doi.org/10.1177/0963662518801170>
- Nicol, D. J., & Milligan, C. (2006). Rethinking technology-supported assessment in terms of the seven principles of good feedback practice. Teoksessa C. Bryan, & K. Clegg (Toim.), *Innovative Assessment in Higher Education* (ss. 1–14). Taylor and Francis Group Ltd.
- Nicola, J., Barson, N. J., Aykanat, T., Hindar, K., Baranski, M., Bolstad, G. H., Fiske, P., Jacq, C., Jensen, A.J., Johnston, S. E., Karlsson, S., Kent, M., Moen, T., Niemelä, E., Nome, T., Næsje, T. F., Orell, P., Romakkaniemi, A., ... & Primmer, C. R. (2015). Sex-dependent dominance at a single locus maintains variation in age at maturity in salmon. *Nature*, 528, 405–408. <https://doi.org/10.1038/nature16062>
- Niemelä, J. (1999). Ekologia kaupunkisuunnittelussa. *Terra*, 111(3). <https://terrajournal.fi/article/view/105993>
- Niemi, E. K. (Toim.) (2015). Aihekokonaisuuksien tavoitteiden toteutumisen seuranta-arviointi 2010. *Koulutuksen seurantaraportit, 1*. Opetushallitus.
- Niemi, H. (2016). Academic and practical: Research-based teacher education in Finland. Teoksessa B. Moon (Toim.), *Do universities have a role in the education and training of teachers? An international analysis of policy and practice* (ss. 19–34). Cambridge University Press.
- Niiniluoto, I. (1984). *Tiede, filosofia ja maailmankatsomus: Filosofisia esseitä tiedosta ja sen arvosta*. Otava.
- Nilivaara, P., & Vainikainen, M.-P. (2022). Oppimaan oppiminen tulevaisuuden taitojen malleissa. Teoksessa N. Heinonen, P. Nilivaara, M. Saarnio, & M.-P. Vainikainen (Toim.), *Laaja-alainen osaaminen koulussa. Ajattelijana ja oppijana kehittyminen* (ss. 23–38). Gaudeamus.
- Niskanen, E., & Leisku-Johansson, A. (2020). Hyvät arvosanat motivoivat – Business norssilaisten kokemuksia lukion arvioinnista keväällä 2018, Business Norssi vahvistaa aktiivista kansalaisuutta ja yrittäjyystaitoja. Teoksessa O.-T. Kankkunen (Toim.), *Arvioinnin ulottuvuudet* (ss. 111–126). Tampereen yliopiston normaalikoulun julkaisu. Tampereen yliopisto.
- Nocella, I. A., Drew, J. C., George, S. K., Lupinacci, J., Purdy, I., & Schatz J. L. (Toim.) (2019). *Education for total liberation: Critical animal pedagogy and teaching against speciesism*. Peter Lang.

- Nordine, J., Sorge, S., Delen, I., Evans, R., Juuti, K., Lavonen, J., Nilsson, P., Ropohl, M., & Stadler, M. (2021). Promoting coherent science instruction through coherent science teacher education: A model framework for program design. *Journal of Science Teacher Education*, 32(8), 911–933. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2021.1902631>
- Novak, J. D., & Cañas, A. J. (2006). The origins of the concept mapping tool and the continuing evolution of the tool. *Information Visualization Journal*, 5(3), 175–184. <https://doi.org/10.1057/palgrave.ivs.9500126>
- NRC (National Research Council) (1998). Trends in the early careers of life scientists. Committee on dimension, causes, and implications of recent trends in careers of life scientist. National Academy Press.
- NRC (National Research Council) (2012a). A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- NRC (National Research Council) (2012b). Discipline-based education research: Understanding and improving learning in undergraduate science and education. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13362>
- Nugent, J. (2018). iNaturalist: citizen science for 21<sup>st</sup> century naturalists. *Science Scope*, 41(7), 12–15. [https://doi.org/10.2505/4/ss18\\_041\\_07\\_12](https://doi.org/10.2505/4/ss18_041_07_12)
- Nukarinen, T., Rantala, J., Korpela, K., Browning, M. H., Istance, H. O., Surakka, V., & Raisamo, R. (2022). Measures and modalities in restorative virtual natural environments: An integrative narrative review. *Computers in Human Behavior*, 126, 107008. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.107008>
- Numbers, R. L. (2006). *The Creationists: From scientific creationism to intelligent design*. Harvard University Press.
- Nupponen, A.-M., Björn, P., & Kärkkäinen, S. (2023). Suolla aistimassa: Luokanopettajaopiskelijoiden ehdotukset pedagogisista aistimahdollisuuksista. *LUMAT Special Issue*, 11(1), 1–24. <https://doi.org/10.31129/lumat.11.1.1887>
- Nüsslein-Volhard, C., & Wieschaus, E. (1980). Mutations affecting segment number and polarity in *Drosophila*. *Nature*, 287, 795–801. <https://doi.org/10.1038/287795a0>
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (n.d.). Programme for International Student Assessment (PISA). <https://www.oecd.org/en/about/programmes/pisa.html>
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). (2019a). PISA 2018 Assessment and analytical framework (ss. 97–117). OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b25efab8-en>

- 
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development). (2019b). Future of education and skills 2030: Curriculum analysis. A synthesis of research on learning trajectories/progressions in mathematics. EDU/EDPC(2018)44/ANN3. Directorate for Education and Skills Education Policy Committee. Luettu Maaliskuu 4, 2024, [https://one.oecd.org/document/EDU/EDPC\(2018\)44/ANN3/En/pdf](https://one.oecd.org/document/EDU/EDPC(2018)44/ANN3/En/pdf)
- Offerdahl, E. G., Arneson, J. B., & Byrne, N. (2017). Lighten the load: Scaffolding visual literacy in biochemistry and molecular biology. *CBE Life Science Education*, 16(1), es1. <https://doi.org/10.1187/cbe.16-06-0193>.
- Ohlsson, S. (2009). Resubsumption: A possible mechanism for conceptual change and belief revision. *Educational Psychologist*, 44(1), 20–40. <https://doi.org/10.1080/00461520802616267>
- Ohlsson, S., & Lehtinen, E. (1997). Abstraction and the acquisition of complex ideas. *International Journal of Educational Research*, 27(1), 37–48. [https://doi.org/10.1016/S0883-0355\(97\)88442-X](https://doi.org/10.1016/S0883-0355(97)88442-X)
- Ojala, A., Neuvonen, M., Leinikka, M., Huotilainen, M., Yli-Viikari, A., & Tyrväinen, L. (2019). Virtuaaliluontoympäristöt työhyvinvoinnin voimavarana: Virtunature-tutkimushankkeen loppuraportti. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/544530>
- Ojala, M. (2012). How do children cope with global climate change? Coping strategies, engagement, and well-being. *Journal of Environmental Psychology*, 32(3), 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2012.02.004>
- Oliveira, H., & Bonito, J. (2023). Practical work in science education: A systematic literature review. *Frontiers in Education*, 8. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1151641>
- Olsson, D., Gericke, N., & Boeve-de Pauw, J. (2022). The effectiveness of education for sustainable development revisited – a longitudinal study on secondary students’ action competence for sustainability. *Environmental Education Research*, 28(3), 405–429. <https://doi.org/10.1080/13504622.2022.2033170>
- OAJ(OpetusalanAmmattijärjestö)(n.d.).Matkustaminenjaretket.LuettuSyyskuu 9, 2024, <https://www.oaj.fi/arjessa/opettajan-vastuut-ja-velvollisuudet/matkustaminen-ja-retket/>
- OPH (Opetushallitus) (n.d.). Koulu retket ja leirikoulut. Opetushallitus. Luettu Maaliskuu 4, 2024, <https://www.oph.fi/fi/koulutus-ja-tutkinnot/koulun-retket-ja-leirikoulut>
- OPH (Opetushallitus) (2003). Lukion opetussuunnitelman perusteet. Opetushallitus.
- OPH (Opetushallitus) (2004). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet. Opetushallitus.
- OPH (Opetushallitus) (2014). Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet. Opetushallitus.

- OPH (Opetushallitus) (2015). Lukion opetussuunnitelman perusteet.
- OPH (Opetushallitus) (2019). Lukion opetussuunnitelman perusteet. Opetushallitus.
- Orion, N., & Libarkin, J. (2014). Earth system science education. Teoksessa N. G. Lederman, & S. K. Abell (Toim.), *Handbook of research on science education* (vol. II, ss. 481–496). Routledge.
- Orr, D. (1994). *Earth in mind: On education, environment, and the human prospect*. Island Press.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692–720. <https://doi.org/10.1002/tea.10105>
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994–1020. <https://doi.org/10.1002/tea.20035>
- Óskarsdóttir, G., Stougaard, B., Fleischer, A., Jeronen, E., Lützen, F., & Kråkenes, R. (2011). Children’s ideas about the human body: A Nordic case study. *Nordic Studies in Science Education*, 7(2), 179–189. <https://doi.org/10.5617/nordina.240>
- Ottander, K., & Simon, S. (2021). Learning democratic participation? Meaning-making in discussion of socioscientific issues in science education. *International Journal of Science Education*, 43(12), 1895–1925. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1946200>
- Ouakrim-Soivio, N., Pulkkinen, J., Rautopuro, J., & Hildén, R. (2018). Toteutuuko perusopetuksentasa-arvo? Katsaus oppimistulosten arviointeihin. *Kasvatus*, 49(5), 415–430. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/66436>
- Oudshoorn, N. (1994). *Beyond the natural body: An archaeology of sex hormones*. Routledge.
- Oulton, C., Dillon, J., & Grace, M. M. (2004). Reconceptualizing the teaching of controversial issues. *International Journal of Science Education*, 26(4), 411–423. <https://doi.org/10.1080/0950069032000072746>
- Owens, D. C., Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2017). Controversial issues in the science classroom. *Phi Delta Kappan*, 99(4), 45–49. <https://doi.org/10.1177/0031721717745544>
- Palmberg, I., Hermans, M., Jeronen, E., Kärkkäinen, S., Persson, C., & Yli-Panula, E. (2018). Nordic student teachers’ views on the importance of species and species identification. *Journal of Science Teacher Education*, 29(3), 1–23. <https://doi.org/10.1080/1046560x.2018.1468167>



- 
- Palmberg, I., Hofman-Bergholm, M., Jeronen, E., & Yli-Panula, E. (2017). Systems thinking for understanding sustainability? Nordic student teachers' views on the relationship between species identification, biodiversity and sustainable development. *Education Sciences*, 7(3), 72. <https://doi.org/10.3390/educsci7030072>
- Palmberg, I. E., & Kuru, J. (2000). Outdoor Activities as a Basis for Environmental Responsibility. *The Journal of Environmental Education*, 31(4), 32–36. <https://doi.org/10.1080/00958960009598649>
- Palmberg, I., Kärkkäinen, S., Jeronen, E., Yli-Panula, E., & Persson, C. (2019). Nordic student teachers' views on the most efficient teaching and learning methods for species and species identification. *Sustainability*, 11(19), 5231. <https://doi.org/10.3390/su11195231>
- Palmer, J. A. (1998). *Environmental education in the 21st century: Theory, practice, progress and promise* (1. p.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203012659>
- Palmer, S. E. (1999). *Vision science. photons to phenomenology*. MIT Press.
- Pasanen, T. (2020). *Everyday physical activity in natural settings and subjective well-being: Direct connections and psychological mediators*. Dissertations, 187. Trepo. [Väitöskirja, Tampere University]. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/118176>
- Pasanen, T., Ojala, A., Tyrväinen, L., & Korpela, K. (2018). Restoration, well-being, and everyday physical activity in indoor, built outdoor and natural outdoor settings. *Journal of Environmental Psychology*, 59, 85–93. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.08.014>
- Payne, D. A. (2003). *Applied educational assessment* (2. p.). Wadsworth Publishing.
- Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>
- Pedersen, H. (2008). Learning to measure the value of life? Animal experimentation, pedagogy, and (eco)feminist critique. Teoksessa R. Sollung (Toim.), *Global harms: Ecological crime and speciesism* (ss. 131–149). Nova Science Publishers.
- Pedersen, H. (2010). *Animals in schools: Processes and strategies in human-animal education*. Purdue University Press.
- Pedersen, H. (2021). Education, anthropocentrism, and interspecies sustainability: Confronting institutional anxieties in omniscidal times. *Ethics and Education*, 16(2), 164–177. <https://doi.org/10.1080/17449642.2021.1896639>

- Pedersen, H., & Pini, B. (2017). Educational epistemologies and methods in a more-than-human world. *Educational Philosophy and Theory*, 49(11), 1051–1054. <https://doi.org/10.1080/00131857.2016.1199925>
- Pedersen, H., Windsor, S., Knutsson, B., Sanders, D., Wals, A., & Franck, O. (2022). Education for sustainable development in the ‘Capitalocene’. *Educational Philosophy and Theory*, 54(3), 224–227. <https://doi.org/10.1080/00131857.2021.1987880>
- Pedretti, E. G., Bencze, L., Hewitt, J., Romkey, L., & Jivraj, A. (2008). Promoting issues-based STSE perspectives in science teacher education: Problems of identity and ideology. *Science and Education*, 17(8–9), 941–960. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9060-8>
- Pekel, F. O., & Hasenekoğlu, I. (2020). An effective tool to deal with misconceptions: Conceptual change approach. Teoksessa V. Krystev, M. S. Dinu, R. Efe, & E. Atasoy (Toim.), *Advances in Social Science Research* (ss. 59–86). St. Kliment Ohridski University Press.
- Pelaez, N. J., Boyd, D. D., Rojas, J. B., & Hoover, M. A. (2005). Prevalence of blood circulation misconceptions among prospective elementary teachers. *Advances in Physiology Education*, 29(3), 172–181. <https://doi.org/10.1152/advan.00022.2004>. PMID: 16109797
- Pettersson, A., Tibell, L. A. E., & Löfgren, R. (2021). The brain needs nutrition: Pupils’ connection between organizational levels. *Nordic Studies in Science Education*, 17(1), 48–63. <https://doi.org/10.5617/nordina.7930>
- Pezzey, J. (1992). Sustainable development concepts. An economic analysis. World Bank environment paper, 2. World Bank Group. Luettu 7, Heinäkuu 7, 2024, <http://documents.worldbank.org/curated/en/237241468766168949/Sustainable-development-concepts-an-economic-analysis>
- Phillips, J. P. (1997). *Florida teachers’ attitudes toward the study of controversial issues in public high school social studies classrooms*. [Väitöskirja, Florida State University].
- Piaget, J. (1970). *Structuralism*. Basic Books.
- Piirto, J. (2010). The five core attitudes, seven I’s, and general concepts of the creative process. Teoksessa R. A. Beghetto, & J. C. Kaufman, (Toim.), *Nurturing creativity in the classroom* (ss. 142–171). Cambridge University Press.
- Pirttijärvi, R., Rautio, A., Paaskoski, L., Karhunkorva, R., & Kärkkäinen, S. (2018). Suomalaisten metsäsuhteiden tila: Selvitys. Kestävästi metsäsuhteessa-hanke. Maa- ja metsätalousministeriö, Suomen metsäyhdistys, Lusto - Suomen metsämuseo. Luettu Maaliskuu, 4, 2024, <https://smy.fi/artikkeli/suomalaisen-metsasuhde-on-moniarvoinen-henkinen-ja-arkin/>

- 
- Pliushchik, M., Tammi, T., & Rautio, P. (2024). Imagining well with almonds and honeybees in the Capitalocene – five multispecies movements for environmental and sustainability education. *The Journal of Environmental Education*, 55(1), 38–51. <https://doi.org/10.1080/00958964.2023.2259850>
- Pojjärvi, V. (1989). *Biologian kenttätöyt ja laboroinnit*. Finn Lectura.
- Pope, N. S. (2006). *Do no harm to whom? An examination of ethics and assessment*. South Atlantic Philosophy of Education Society Yearbook, 25–31.
- Popham, W. J. (1991). Appropriateness of teachers' test- preparation practices. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 10(4), 12–15.
- Popper, K. R. (1959). *The logic of scientific discovery*. University Press.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211–227.
- Potvin, P. (2017). The coexistence claim and its possible implications for success in teaching for conceptual “change.” *European Journal of Science and Mathematics Education*, 5(1), 55–66. <https://doi.org/10.30935/scimath/9497>
- Potvin, P., & Cyr, G. (2017). Toward a durable prevalence of scientific conceptions: Tracking the effects of two interfering misconceptions about buoyancy from pre-schoolers to science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(9), 1121–1142. <https://doi.org/10.1002/tea.21396>
- Potvin, P., Nenciovici, L., Malenfant-Robichaud, G., Thibault, F., Sy, O., Mahhou, M. A., ... Chastenay, P. (2020). Models of conceptual change in science learning: establishing an exhaustive inventory based on support given by articles published in major journals. *Studies in Science Education*, 56(2), 157–211. <https://doi.org/10.1080/03057267.2020.1744796>
- Potvin, P., Sauriol, É., & Riopel, M. (2015). Experimental evidence of the superiority of the prevalence model of conceptual change over the classical models and repetition. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(8), 1082–1108. <https://doi.org/10.1002/tea.21235>
- Pouta, E., Hiedanpää, J., Iho, A., Kniivilä, M., El Geneidy, S., Kujala, H., Kyllönen, S., Laukkanen, M., Mykrä, N., Nyyssölä, M., Pakarinen, J., Silvola, H., Tynkkynen, N., & Vinnari, M. (2023). *Assessing the economics of biodiversity in Finland: Implications of the Dasgupta Review for Finland*. Publications of the Ministry of the Environment.
- Prokop, P., & Fančovičová, J. (2017). The effect of hands-on activities on children's knowledge and disgust for animals. *Journal of Biological Education*, 51(3), 305–314. <https://doi.org/10.1080/00219266.2016.1217910>

- Puig, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (Toim.) (2022). *Critical thinking in biology and environmental education. Facing challenges in a post-truth world.* Contributions from Biology Education Research. Springer, Cham, [https://doi.org/10.1007/978-3-030-92006-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-92006-7_1)
- Pyrhönen, N. (2015). *The true colors of Finnish welfare nationalism: Consolidation of neo-populist advocacy as a resonant collective identity through mobilization of exclusionary narratives of blue-and-white solidarity.* [Väitöskirja, Helsingin yliopisto]. <https://helda.helsinki.fi/items/b665411d-f2a6-41c6-a2cb-03c7c4f14861>
- Pääkkönen, T. (2020). Oppimisen omistaminen ja arviointi – Arvioinnin kokeiluja katsomusaineissa. Teoksessa O-T. Kankkunen (Toim.). *Arvioinnin ulottuvuudet* (ss. 101–110). Tampereen yliopiston normaalikoulun julkaisu. Eräsalon Kirjapaino Oy.
- Quillin K., & Thomas S. (2015). Drawing-to-learn: A framework for using drawings to promote model-based reasoning in biology. *CBE Life Sciences Education*, 14(1):es2. <https://doi.org/10.1187/cbe.14-08-0128>
- Qvortrup, J. (2009). *Are children human beings or human becomings? A critical assessment of outcome thinking.* Rivista Internazionale di Scienze Sociali, Vita e Pensiero, Pubblicazioni dell'Università Cattolica del Sacro Cuore, 117(3), 631–654. <https://doi.org/10.1111/j.1099-0860.2007.00110.x>
- Rajakorpi, A. (2001). Opetussuunnitelmiin kirjoitettujen kestävän kehityksen ajatusten toteutuminen. Teoksessa A. Rajakorpi, & K. Salmio (Toim.), *Toteutuuko kestävä kehitys kouluissa ja oppilaitoksissa? Arviointi*, 3 (ss. 47–79). Opetushallitus.
- Rajala, A., & Akkerman, S. (2019). Researching reinterpretations of educational activity in dialogic interactions during a fieldtrip. *Learning, Culture and Social Interaction*, 20, 32–44. <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2017.10.006>
- Rajala, A., Kumpulainen, K., Rainio, A. P., Hilppö, J., & Lipponen, L. (2016a). Dealing with the contradiction of agency and control during dialogic teaching. *Learning, Culture and Social Interaction*, 10, 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2016.02.005>
- Rajala, A., Kumpulainen, K., Hilppö, J., Paananen, M., & Lipponen, L. (2016b). Connecting learning across school and out-of-school contexts: A review of pedagogical approaches. Teoksessa O. Erstad, K. Kumpulainen, Å. Mäkitalo, K. P. Pruihlmann-Vengerfeldt, & T. Jóhannsdóttir (Toim.), *Learning across contexts in the knowledge society* (ss. 15–35). Sense publishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-6300-414-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-94-6300-414-5_2)
- Randler, C. (2008a). Pupils' factual knowledge about vertebrate species. *Journal of Baltic Science Education*, 7, 48–54.

- 
- Randler, C. (2008b). Teaching species identification – A prerequisite for learning biodiversity and understanding ecology. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 4(3), 223–231. <https://doi.org/10.12973/ejmste/75344>
- Randler, C., Hummel, E., & Prokop, P. (2012). Practical work at school reduces disgust and fear of unpopular animals. *Society & Animals*, 20(1), 61–74. <https://doi.org/10.1163/156853012X614369>
- Randler, C., Ilg, A., & Kern, J. (2005). Cognitive and emotional evaluation of an amphibian conservation program for elementary school students. *Journal of Environmental Education*, 37, 43–52. <https://doi.org/10.3200/joe.37.1.43-52>
- Ranne J. (2006). *Anna palaa! Käytännön palautetaitokirja*. Ai-ai.
- Rasila, M., & Pitkonen, M. (2009). *Ihana, kamala palaute*. Yrityskirjat.
- Ratcliffe, E., Gatersleben, B., Sowden, P. T., & Korpela, K. M. (2021). Understanding the perceived benefits of nature for creativity. *The Journal of Creative Behavior*, 56(2), 215–231. <https://doi.org/10.1002/jocb.525>
- Ratinen, I., & Linnanen, L. (2022). Exploring systems thinking competence of Finns in fostering sustainable transformation. *World*, 3, 287–298. <https://doi.org/10.3390/world3020015>
- Ratinen, I., & Uusiatti, S. (2020). Finnish students' knowledge of climate change mitigation and its connection to hope. *Sustainability*, 12(6), 2181. <https://doi.org/10.3390/su12062181>
- Rea, T. (2008). Alternative visions of learning: Children's learning experiences in the outdoors. *Educational Futures*, 1(2), 42–50.
- Reen, F. J., Jump, O., McEvoy, G., McSharry, B. P., Morgan, J., Murphy, D., O'Leary, N., O'Mahony, B., Scallan, M., Walsh, C., & Supple, B. (2022). Developing student codesigned immersive virtual reality simulations for teaching of challenging concepts in molecular and cellular biology. *FEMS Microbiology Letters*, 369(1), 1–8. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnac051>
- Reis, P., & Galvão, C. (2009). Teaching controversial socio-scientific issues in biology and geology classes: A case study. *Electronic Journal of Science Education*, 13(1), 1–24. <http://www.scribd.com/doc/31801678/Teaching-Controversial-Socio-Scientific-Issues-in-Biology-and-Geology-Classes-A-Case-Study>
- Reiss, M. J. (2008). Teaching evolution in a creationist environment: An approach based on worldviews not misconceptions. *School Science Review*, 90(331), 49–56.
- Reiss, M. J. (2018). Reproduction and sex education. Teoksessa K. Kampourakis, & M. J. Reiss (Toim.), *Teaching biology in schools: Global research, issues, and trend* (ss. 87–98). Routledge.

- Remmele, M., & Lindemann-Matthies, P. (2018). Like father, like son? On the relationship between parents' and children's familiarity with species and sources of knowledge about plants and animals. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(10), 1581. <https://doi.org/10.29333/ejmste/92287>
- Remmen, K. B., & Iversen, E. (2022). A scoping review of research on school-based outdoor education in the Nordic countries. *Journal of Adventure Education and Outdoor Learning*, 23(4), 433–451. <https://doi.org/10.1080/14729679.2022.2027796>
- Rennie, L. J. (2014). Learning Science outside of School. Teoksessa N. G. Lederman, & S. K. Abell (Toim.), *Handbook of research on science education* (vol. II, ss. 120–144). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203097267.ch7>
- Rennie, L., Feher, E., Dirking, L., & Falk, J. (2003). Towards an agenda for advancing research on science learning in out-of-school settings. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(2), 112–120. <https://doi.org/10.1002/tea.10067>
- Rickinson, M., Dillon, J., Teamey, K., Morris, M., Choi, M. Y., Sanders, D., & Benefield, P. (2004). *A review of research on outdoor learning*. National Foundation for Educational Research and King's College London.
- Rios, J. M., & Brewer, J. (2014). Outdoor education and science achievement. *Applied Environmental Education & Communication*, 13(4), 234–240. <https://doi.org/10.1080/1533015x.2015.975084>
- Ripple, W. J., Wolf, C., Gregg, J. W., Levin, K., Rockström, J., Newsome, T. M., Betts, M. G., Huq, S., Law, B. E., Kemp, L., Kalmus, P., & Lenton, T. M. (2022). World Scientists' Warning of a Climate Emergency 2022. *BioScience*, 72(12), 1149–1155. [doi.org/10.1093/biosci/biac083](https://doi.org/10.1093/biosci/biac083)<https://doi.org/10.1093/biosci/biac083>
- Risku-Norja, H., Jeronen, E., Kurppa, S., Mikkola, M., & Uitto, A. (2012). Ruoka - oppimisen edellytys ja opetuksen voimavara. Helsingin yliopisto, Ruralia-instituutti. *Julkaisuja*, 25. <http://www.helsinki.fi/ruralia/julkaisut/pdf/Julkaisuja25.pdf>
- Roberts, D. A. (2007). Scientific literacy/science literacy. Teoksessa S. K. Abell, & N. G. Lederman (Toim.), *Handbook of research on science education* (ss. 729–780). Lawrence Erlbaum Associates.
- Roberts, D. A. (2011). Competing visions of scientific literacy: The influence of a science curriculum policy image. Teoksessa C. Linder, L. Östman, D. A. Roberts, P.-O. Wickman, G. Erickson, & A. MacKinnon (Toim.), *Exploring the landscape of scientific literacy* (ss. 11–27). Routledge.
- Roberts, D. A., & Bybee, R. W. (2014). Scientific literacy, science literacy, and science education. Teoksessa N. G. Lederman, & S. K. Abell (Toim.), *Handbook of research on science education* (vol. 2, ss. 545–558). Routledge.

- 
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin III, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza R., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472–475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Rockström, J., & Sukhdev, P. (2016). The SDGs wedding cake. Stockholm Resilience Centre/Stockholm University. Luettu Heinäkuu 7, 2024, <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-how-food-connects-all-the-sdgs.html>
- Rose, B. D., & van Dooren, T. (Toim.) (2011). Unloved others: Death of the disregarded in the time of extinctions. *Australian Humanities Review*, 50. ANU E Press. <https://press-files.anu.edu.au/downloads/press/p111121/pdf/book.pdf>
- Rosenberg, A. (2008). Reductionism in biology. Teoksessa S. Sarkar, & A. Plutynski (Toim.), *A companion to the philosophy of biology* (ss. 550–567). John Wiley & Sons.
- Rosqvist, L., Kokko, M., Kinos, J., Robertson, L., Pukk, M., & Barbour, N. (2019). Lapsilähtöinen pedagogiikka varhaiskasvattajien kanssa konstruotuna. *Journal of Early Childhood Education Research*, 8(1), 192–214.
- Rossi, L.-M., & Sudenkaarne, T. (2021). ”Queer” kotiutui: Mitä tapahtui ”pervolle”? *SQS - Suomen Queer-Tutkimuksen Seuran Lehti*, 15(1–2), 66–69. <https://doi.org/10.23980/sqs.112517>
- Roth, K. (1990). Developing meaningful conceptual understanding in science. Teoksessa B. Jones, & L. Idol (Toim.), *Dimensions of thinking and cognitive instruction* (ss. 139–175). Lawrence Erlbaum Associates.
- Rozenszayn, R., & Ben-Zvi Assaraf, O. (2011). When collaborative learning meets nature: Collaborative learning as a meaningful learning tool in the ecology inquiry based project. *Research in Science Education*, 41, 123–146. <https://doi.org/10.1007/s11165-009-9149-6>
- Rupprecht, C. D. D., Vervoort, J., Berthelsen, C., Magnus, A., Osborne, N., Thompson, K., Urushima, A. Y. F., Kóvskaya, M., Spiegelberg, M., Cristiano, S., Springett, J., Marschütz, B., Flies, E. J., McGreevy, S. R., Droz, L., Breed, M. F., Gan, J., Shinkai, R., ... Kawai, A. (2020). Multispecies sustainability. *Global Sustainability*, 3(e34), 1–12. <https://doi.org/10.1017/sus.2020.28>
- Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136–153. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2017). *Self-determination theory. Basic psychological needs in motivation, development and wellness*. Guilford Press.

- Rytivaara, A., Pulkkinen, J., & de Bruin, C. L. (2019). Committing, engaging and negotiating: Teachers' stories about creating shared spaces for co-teaching. *Teaching and Teacher Education*, 83, 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2019.04.013>
- Räsänen, A., & Frisk, T. (1996). Oppilas- ja opiskelija-arvioinnin taustaa. Teoksessa A. Räsänen, & T. Frisk (Toim.), *Silta uuteen opiskelija-arviointiin. Arviointia opiskelija-arvioinnista*. Arviointi, 6 (ss. 9–26). Opetushallitus.
- Räsänen, J. (2016). *Seksuaaliopetus yläkoulussa ja lisääntymisbiologian oppituntien vaikutus 9. -luokkalaisten seksuaaliterveystietoihin*. [Maisteritutkielma, Jyväskylän yliopisto].
- Saari, A., Salmela, S., & Vilkkilä, J. (2017). Bildung- ja curriculum-perinteet suomalaisessa opetussuunnitelma-ajattelussa. Teoksessa T. Autio, L. Hakala, & T. Kujala (Toim.), *Opetussuunnitelmatutkimus: keskustelun-avauksia suomalaisen kouluun ja opettajankoulutukseen* (ss. 61–82). Tampere University Press. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-03-0635-9>
- Saari, A., & Sääntti, J. (2018). The rhetoric of the 'digital leap' in Finnish educational policy documents. *European Educational Research Journal*, 17(3), 442–457. <https://doi.org/10.1177/1474904117721373>
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues. A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513–536. <https://doi.org/10.1002/tea.200>
- Sadler, T. D. (2011). *Socio-scientific issues in the classroom. Teaching, learning and research*. Springer.
- Sadler, T. D., & Zeidler, D. L. (2005). Patterns of informal reasoning in the context of socioscientific decision making. *Journal of Research in Science Teaching*, 42, 112–138. <http://dx.doi.org/10.1002/tea.20042>
- Salari, K., Karczewski, K. J., Hudgins, L., & Ormond, K. E. (2013). Evidence that personal genome testing enhances student learning in a course on genomics and personalized medicine. *PLoS One*, 8(7), e68853. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068853>
- Sallinen, M. (2013). Uni, muisti ja oppiminen. *Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim*, 129(21), 2253–2259.
- Salmela-Aro, K. (2018). *Motivaatio ja oppiminen*. PS-kustannus.
- Salmi, H. (2010). Tiedekeskuspedagogiikka ja akateeminen opettajankoulutus. Teoksessa A. Kallioniemi, A. Toom, M. Ubani, & H. Linnansaari (Toim.), *Akateeminen luokanopettajakoulutus: 30 vuotta teoriaa, käytäntöä ja maistereita* (ss. 377–406). Suomen kasvatustieteellinen seura.
- Salmi, H. (2023). Opetus koulun ulkopuolella. Teoksessa A. Kaasinen, & U. Myllyniemi (Toim.), *Ulkona opettamisen käsikirja* (ss. 100–107). PS-kustannus.



- 
- Salmi, H., & Thuneberg, H. (2022). Informaali oppiminen ja tulevaisuuden osaaminen. Teoksessa N. Hienonen, P. Nilivaara, M. Saarnio, & M-P. Vainikainen (Toim.) *Laaja-alainen osaaminen koulussa: Ajattelijana ja oppijana kehittyminen* (ss. 256–268). Gaudeamus.
- Salminen, J., Tornberg, L., & Venäläinen, P. (2012). Public Institutions as Learning Environments in Finland. Teoksessa H. Niemi, A. Toom, & A. Kallioniemi (Toim.) *Miracle of Education. The Principles of Teaching and Learning in Finnish Schools* (ss. 249–262). Rotterdam: Sense Publishers, [https://doi.org/10.1007/978-94-6091-811-7\\_17](https://doi.org/10.1007/978-94-6091-811-7_17)
- Salo, K. (2016). *Learning by gardening – nuorisojärjestön aktiivoina koulun puutarhatoiminta. Tapaus Vihdin malli*. [Lisensiaatti-tutkielma, Helsingin yliopisto].
- Salonen, A., & Bardy, M. (2015). Ekososiaalinen sivistys herättää luottamusta tulevaisuuteen. *Aikuiskasvatus*, 35(1), 4–15. <https://doi.org/10.33336/aik.94118>
- Salonen, A., & Joutsenvirta, M. (2018). Vauraus ja sivistys yltäkylläisyyden ajan jälkeen. *Aikuiskasvatus*, 38(2), 84–101. <https://doi.org/10.33336/aik.88331>
- Salonen, K. (2020). *Kokonaisvaltainen luontokokemus hyvinvoinnin tukena*. Tampereen yliopiston väitöskirjat, 253. Trepo. [Väitöskirja, Tampereen yliopisto]. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/121602>
- Saloranta, S. (2017). *Koulun toimintakulttuurin merkitys kestävän kehityksen kasvatuksen toteuttamisessa perusopetuksen vuosiluokkien 1–6 kouluissa*. Kasvatustieteellisiä tutkimuksia, 14. [Väitöskirja, Helsingin yliopisto]. <http://hdl.handle.net/10138/216724>
- Santalahti, T. (2004). Seksuaalisen suuntautumisen ja sukupuolen moninaisuus. Lääkärikirja Duodecim. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk01397>
- Sá-Pinto, X., Beniermann, A., Børsen, T., Georgiou, M., Jeffries, A., Pessoa, P., Sousa, B., & Zeidler, D. L. (Toim.), (2022). *Learning evolution through socioscientific issues*. UA Editora. Luettu Heinäkuu 1, 2024, [https://ria.ua.pt/bitstream/10773/35673/3/Learning\\_evolution\\_through\\_SSI.pdf](https://ria.ua.pt/bitstream/10773/35673/3/Learning_evolution_through_SSI.pdf)
- Sass, W., Boeve-de Pauw, J., Olsson, D., Gericke, N., De Maeyer, S., & van Petegem, P. (2020). Redefining action competence: The case of sustainable development. *The Journal of Environmental Education*, 51(4), 292–305. <https://doi.org/10.1080/00958964.2020.1765132>
- Sass, W., De Maeyer, S., Boeve-de Pauw, J., & van Petegem, P. (2023a). Honing action competence in sustainable development: What happens in classrooms matters. *Environment, Development and Sustainability*, 25(4), 3649–3670. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02195-9>

- Sass, W., De Maeyer, S., Boeve-de Pauw, J., & Van Petegem, P. (2023b). Effectiveness of education for sustainability: the importance of an action-oriented approach. *Environmental Education Research*, 30(4), 479–498. <https://doi.org/10.1080/13504622.2023.2229543>
- Sawyer, R. K. (Toim.) (2006). *Cambridge handbook of the learning sciences*. Cambridge University Press.
- Scaife, J. (2012). Learning in science. Teoksessa J. Wellington, & G. Ireson (Toim.), *Science learning, science teaching* (3. p., ss. 61–118). Routledge.
- Schacter, D. (2011). *Muistin seitsemän syntiä. Miten aivot muistavat ja unohtavat*. Terra Cognita Oy.
- Scheunpflug, A., & Asbrand, B. (2006). Global education and education for sustainability. *Environmental Education Research*, 12(1), 33–46. <https://doi.org/10.1080/13504620500526446>
- Schiefele, U. (2009). Situational and Individual Interest. Teoksessa K. R. Wenzel, & A. Wigfield (Toim.), *Educational psychology handbook series. Handbook of motivation at school* (pp. 197–222). Routledge.
- Schmeiser, C. B. (1995). *Ethics in assessment*. ERIC Digest, ED391111. ERIC Clearinghouse on Counseling and Student Services Greensboro NC. Luettu Maaliskuu 15, 2023, <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED391111.pdf>
- Schneider, B., Krajcik, J., Lavonen, J., & Salmela-Aro, K. (2020). *Learning science: The value of crafting engagement in science environments*. Yale University Press.
- Schreiner, C., Henriksen, E. K., & Kirkeby Hansen, P. J. (2005). Climate education: Empowering today's youth to meet tomorrow's challenges. *Studies in Science Education*, 41, 3–50. <https://doi.org/10.1080/03057260508560213>
- Schröder, M., van der Zanden, E., van Oudenhoven, A., Remme, R., Serna-Chavez, H., de Groot, R., & Opdam, P. (2014). Ecosystem services as a contested concept: A synthesis of critique and counter-arguments. *Conservation letters*, 7(6), 514–523. . <https://doi.org/10.1111/conl.12091>
- Schultz, P. W. (2002). "Inclusion with nature: The psychology of human-nature relations". Teoksessa P. Schmuck, & W. P. Schultz (Toim.), *Psychology of sustainable development* (ss. 62–78). Kluwer Academic. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0995-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0995-0_4)
- Schwandt, T. (2007). Expanding the conversation on evaluation ethics. *Evaluation and Program Planning*, 30(4), 400–403. <https://doi.org/10.1016/j.evalprogplan.2007.06.002>
- Schönfelder, M. L., & Bogner, F. X. (2017a). Two ways of acquiring environmental knowledge: by encountering living animals at a beehive and by observing bees via digital tools. *International Journal of Science Education*, 39(6), 723–741 <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1304670>

- 
- Schönfelder M. L., & Bogner F. X. (2017b) Individual perception of bees: Between perceived danger and willingness to protect. *PLoS ONE*, 12(6), e0180168. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180168>
- Scott, E. C. (2009). *Evolution vs. creationism. An introduction* (2. p.). Greenwood Press.
- Scott, G. W., & Boyd, M. (2014). A potential value of familiarity and experience: Can informal fieldwork have a lasting impact upon literacy? *Education*, 42(5), 517–527. <https://doi.org/10.1080/03004279.2012.731418>
- Scott, G. W., Boyd, M., Scott, L., & Colquhoun, D. (2015). Barriers to biological fieldwork: What really prevents teaching out of doors? *Journal of Biological Education*, 49(2), 165–178. <https://doi.org/10.1080/00219266.2014.914556>
- Seah, L. H., & Chan, K. K. H. (2021). A case study of a science teacher's knowledge of students in relation to addressing the language demands of science. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 19, 267–287. <https://doi.org/10.1007/s10763-019-10049-6>
- Seitamaa-Hakkarainen, P., Viilo, M., & Hakkarainen, K. (2010). Learning by collaborative design: Technology enhanced knowledge practices. *International Journal of Technology and Design Education*, 20, 109–136. <https://doi.org/10.1007/s10798-008-9066-4>
- Sendhil, R., Nyika, J., Yadav, S., Mackolil, J., RamaG, R. P., Workie, E., Ragupathy, R., & Ramasundaram, P. (2022) Genetically modified foods: bibliometric analysis on consumer perception and preference, *GM Crops & Food*, 13:1, 65-85. <https://doi.org/10.1080/21645698.2022.2038525>
- Setti, A., Lionetti, F., Kagari, R. L., Motherway, L., & Pluess, M. (2022). The temperament trait of environmental sensitivity is associated with connectedness to nature and affinity to animals. *Heliyon*, 8(7), e09861. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09861>
- Setälä, V. (2008). Kehitysoopin julkinen ymmärrys ja populaari evoluutiodiskurssi. *Media & Viestintä*, 31(4), 42–62. <https://doi.org/10.23983/mv.63015>
- Shamos, M. H. (1995). *The myth of scientific literacy*. Rutgers University Press.
- Shavelson, R. J., & Stern, P. (1981). Research on teachers' pedagogical thoughts, judgments, decisions, and behavior. *Review of Educational Research*, 51, 455–498.
- Shephard, K., Rieckmann, M., & Barth, M. (2019). Seeking sustainability competence and capability in the ESD and HESD literature: An international philosophical hermeneutic analysis. *Environmental Education Research*, 25(4), 532–547. <https://doi.org/10.1080/13504622.2018.1490947>
- Shtulman, A. (2017). *Scienceblind: Why our intuitive theories about the world are so often wrong*. Hachette UK. <https://doi.org/10.1126/science.aan4200>

- Shtulman, A., & Legare, C. H. (2020). Competing explanations of competing explanations: Accounting for conflict between scientific and folk explanations. *Topics in Cognitive Science*, 12(4), 1337–1362. <https://doi.org/10.1111/tops.12483>
- Shtulman, A., & Lombrozo, T. (2016). Bundles of contradiction: A coexistence view of conceptual change. Teoksessa D. Barner, & A. S. Baron (Toim.), *Core knowledge and conceptual change* (ss. 53–72). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780190467630.003.0004>
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57, 1–22.
- Simms, L., Asselin, M., & Falkenberg, T. (2020). Environmental and sustainability education pedagogical approaches in pre-service teacher education. *Canadian Journal of Environmental Education*, 2, 14–32.
- Simola, H. (2020). Koulun muuttamisen antinomat – koulutussosiologinen näköala kohti realistisia utopioita. *Kasvatus*, 51(2), 114–129.
- Simonneaux, L., & Chouchane, H. (2011). The reasoned arguments of a group of future biotechnology technicians on a controversial socio-scientific issue: Human gene therapy. *Journal of Biological Education*, 45(3), 150–157. <https://doi.org/10.1080/00219266.2011.582878>
- Sinakou, E., Boeve-de Pauw, J., & van Petegem, P. (2020). Designing powerful learning environments in education for sustainable development: A conceptual framework. *Sustainability* 2019, 11, 5994. Press. <https://doi.org/10.3390/su11215994>
- Sinatra, G., & Hofer, B. (2021). *Science denial: Why it happens and what to do about it*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780190944681.001.0001>
- Sinatra, G., Kienhues, D., & Hofer, B. (2014). Addressing challenges to public understanding of science: Epistemic cognition, motivated reasoning, and conceptual change. *Educational psychologist*, 49, 128–138. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.916216>
- Singer, P. (2013). Kaikki eläimet ovat tasavertaisia. Teoksessa E. Aaltola (Toim.), *Johdatus eläinfilosofiaan* (ss. 69–87). Gaudeamus.
- Sjöström, J., & Eilks, I. (2018). Reconsidering different visions of scientific literacy and science education based on the concept of bildung. Teoksessa Y. J. Dori, Z. R. Mevarech, & D. R. Baker (Toim.), *Cognition, metacognition, and culture in STEM education*. Innovations in science education and technology, 24, 65–88. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-66659-4\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-66659-4_4)
- Sjöström, J., & Eilks, I. (2020). The Bildung Theory—From von Humboldt to Klafki and Beyond. Teoksessa Akpan, B., & Kennedy, T. J. (Toim.), *Science Education in Theory and Practice*. Springer Texts in Education. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-43620-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-43620-9_5)

- 
- Sjöström, J., Economou, C., Edström, A.-M., Ekberg, J.-E., Svensson Källberg, P., Larneby, M., Liljefors Persson, B., Ryan, U., Schubert, P., Wangen, B., Örbring, D. (2024). Knowledge contributions from different school subjects to cross-curricular didactics for Bildung and sustainability (ss. 66-91). Teoksessa Hilli, C. & Mård, N.(Toim.), *Crossing over Subject Boundaries towards New Horizons: Recent Trends in Research on Crosscurricular Teaching from the Nofa 9 Conference*. Ainedidaktisia tutkimuksia, 25. <https://doi.org/10.23988/sats.1009>
- Sjöström, J., Frerichs, N., Zuin, V., & Eilks, I. (2017). Use of the concept of Bildung in the international science education literature, its potential, and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 53(2), 165–192. <https://doi.org/10.1080/03057267.2017.1384649>
- Skarbø Solem, M., & Skovholt, K. (2019). Teacher Formulations in Class-room Interactions. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 63(1), 69–88. <https://doi.org/10.1080/00313831.2017.1324904>
- Skarstein, T. H., & Skarstein, F. (2020). Curious children and knowledgeable adults—Early childhood student-teachers’ species identification skills and their views on the importance of species knowledge. *International Journal Science Education*, 42(2), 310–328, <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1710782>
- Smeds, P., Jeronen, E., & Kurppa, S. (2015). Farm education and the value of learning in an authentic learning environment. *International Journal of Environmental & Science Education*, 10(3), 381–404. <https://doi.org/10.12973/ijese.2015.251a>
- Smith, M. U., & Siegel, H. (2019). Must evolution education that aims at belief be indoctrinating? *Science and Education*, 28(9–10), 1235–1247. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00095-5>
- Snook, I. A. (1972). *Indoctrination and education*. Routledge & Kegan Paul.
- Soini, K. (2017). Kestävyystiede – kestävyystudkimuksen uusi paradigma? *Tieteessä tapahtuu*, 1, 37–42. <https://journal.fi/tt/article/view/60788>
- Sormunen, K., Hartikainen-Ahia, A., & Kärkkäinen, S. (2017). Kokemuksia ehdyttävän luonnontieteiden opetuksen yhteisöllisestä suunnittelusta ja toteutuksesta. Teoksessa H-M. Pakula, E. Kouki, H. Silfverberg, & E. Yli-Panula (Toim.), *Uudistuva ja uusiutuva ainedidaktiikka* (ss. 224–239). Ainedidaktisia tutkimuksia, 11. <http://hdl.handle.net/10138/174336>
- Sourgiadaki, M., & Karkalakos, S. (2023). “GreenComp” as a tool for examining motivation of vocational teachers to create learning opportunities for the green transition. *SN Social Sciences*, 3, 114. <https://doi.org/10.1007/s43545-023-00699-3>

- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Coulson, R. L., & Anderson, D. K. (1989). Multiple analogies for complex concepts: Antidotes for analogy-induced misconception in advanced knowledge acquisition. Teoksessa S. Vosniadou, & A. Ortony (Toim.), *Similarity and analogical reasoning* (ss. 498–531). Cambridge University Press.
- Srivastava, A., & Ramadas, J. (2013). Analogy and gesture for mental visualization of DNA structure. Teoksessa D. Treagust, & C-Y. Tsui (Toim.), *Multiple representation in biological education. Models and modeling in science education* (ss. 311–329). Springer.  
[https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8\\_17](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4192-8_17)
- Stahl, G. (2000). A model of collaborative knowledge-building. Teoksessa B. J. Fishman, & S. F. O'Connor-Divelbiss (Toim.), *International conference of the learning sciences: Facing the challenges of complex real world settings* (ss. 70–78). Lawrence Erlbaum Associates.
- Stapp, W. B. (1969). The concept of environmental education. *Environmental Education*, 1(1), 30–31. <https://doi.org/10.1080/00139254.1969.10801479>
- Stave, K. A., & Hopper, M. (2007). What constitutes systems thinking? A proposed taxonomy. Teoksessa *Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamics Society, Boston, MA, USA, 29 July–3 August 2007*. Luetu Maaliskuu 29, 2024, [http://static.clexchange.org/ftp/conference/CLE\\_2010/CO2010-06Session5MeasureST.pdf](http://static.clexchange.org/ftp/conference/CLE_2010/CO2010-06Session5MeasureST.pdf)
- Stearns, P. N. (2006). *Consumerism in world history. The global transformation of desire*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203969885>
- Steg, L., & Groot, de, J. (Toim.) (2018). *Environmental psychology: An introduction, Second Edition*. BPS Textbooks in Psychology. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119241072>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J. Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Stein, S., Andreotti, V., Suša, R., Ahenakew C., & Čajková, T. (2022) From “education for sustainable development” to “education for the end of the world as we know it”. *Educational Philosophy and Theory*, 54(3), 274–287. <https://doi.org/10.1080/00131857.2020.1835646>
- Stengers, I. (2010). Including nonhumans in political theory: Opening Pandora’s box? Teoksessa B. Braun, & S. J. Whatmore (Toim.), *Political matter: Technoscience, democracy, and public life* (ss. 3–34). University of Minnesota Press.

- 
- Stensola, H., Stensola, T., Solstad, T., Frøland, K., Moser, M.-B., & Moser, E. I. (2012). The entorhinal grid map is discretized. *Nature*, 492(7427), 72–78. <https://doi.org/10.1038/nature11649>
- Sterling, S. (2001). *Sustainable education – Re-visioning learning and change*. Schumacher Briefing, 6. Schumacher Society/Green Books.
- Sterling, S. (2004). An analysis of the development of sustainability education internationally. Evolution, interpretation and transformative potential. Teoksessa C. Cullingford, & J. Blewitt (Toim.), *The Sustainability Curriculum. The Challenge for Higher Education* (ss. 43–62). Routledge.
- Sterling, S. (2008). Sustainable education – Towards a deep learning response to unsustainability. *Policy & Practice, A Development Education Review*, 6, 63–68.
- Sterling, S. (2010-11). Transformative learning and sustainability: Sketching the conceptual ground. *Learning and Teaching in Higher Education*, 5, 17–33.
- Sterling S., Blake J., & Goodson I. (2013). Transformative learning for a sustainable future: An exploration of pedagogies for change at an alternative college. *Sustainability*, 5, 1–26. <https://doi.org/10.3390/su5125347>
- Sterling S., Dawson, J., & Warwick, P. (2018). Transforming sustainability education at the creative edge of the mainstream: A case study of Schumacher College. *Journal of Transformative Education*, 16(4), 323–343. <https://doi.org/10.1177/1541344618784375>
- Stevenson, R. B., Brody, M., Dillon, J., & Wals, A. E. J. (Toim.) (2012). *International Handbook of Research on Environmental Education* (1. p.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203813331>
- Stevenson, R. B., Nicholls, J., & Whitehouse, H. (2017). What is climate change education? *Curriculum Perspectives*, 37(1), 67–71. <https://doi.org/10.1007/s41297-017-0015-9>
- Stokes, A., & Boyle, A. P. (2009). The undergraduate geoscience fieldwork experience: Influencing factors and implications for learning. *Geological Society of America Special Papers*, 461, 291–311. [https://doi.org/10.1130/2009.2461\(23\)](https://doi.org/10.1130/2009.2461(23))
- Stolpe, K., & Björklund, L. (2013). Students' long-term memories from an ecology field excursion: Retelling a narrative as an interplay between implicit and explicit memories. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 57(3), 277–291. <https://doi.org/10.1080/00313831.2012.656278>
- Struyf, A., De Loof, H., Boeve-de Pauw, J., & Van Petegem, P. (2019). Students' engagement in different STEM learning environments: integrated STEM education as promising practice? *International Journal of Science Education*, 41(10), 1387–1407. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1607983>

- Stuckey, M., Hofstein, A., Mamiok-Naaman, R., & Eilks, I. (2013). The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education*, 49(1), 1–34. <https://doi.org/10.1080/03057267.2013.802463>
- Sturm, U., Voigt-Heucke, S., Mortega, K.G., & Moormann, A. (2020). Die Artenkenntnis von berliner Schülerinnen – am Beispiel einheimischer Vögel. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 26, 143–155. <https://doi.org/10.1007/s40573-020-00117-8>
- Stylianidou, F., Glauert, E., Rossis, D., Compton, A., Cremin, A., Craft, C., & Havu-Nuutinen, S. (2018). Fostering inquiry and creativity in early years STEM education: Policy recommendations from the creative little scientists project. *European Journal of STEM Education*, 3(3), 2–13. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/3875>
- Sulistyowati, P., Ananda, N. S., & Hudha, M. N. (2021). Developing an instructional media based on augmented reality animation for 3R topic (reduce, reuse, and recycle) of thematic learning. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1098(3), 032111. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1098/3/032111>
- Sundström, L. (1994). Sex ratio bias, relatedness asymmetry and queen mating frequency in ants. *Nature*, 367, 266–268. <https://doi.org/10.1038/367266a0>
- Suomen kestävän kehityksen toimikunta (n.d.). Kestävän kehityksen globaali toimintaohjelma Agenda2030. Luettu Elokuu 15, 2024, <https://kestavakehitys.fi/agenda-2030>
- Suomen museoliitto (n.d.). Museo-opetus. Luettu Maaliskuu 4, 2024, <https://www.museoliitto.fi/museo-opetus>.
- Swanson, J. C. (1995). Farm animal well-being and intensive production systems. *Journal of Animal Science*, 73(9), 2744–2751. <https://doi.org/10.2527/1995.7392744x>
- Säljö, R. (2009). Learning, theories of learning, and units of analysis in research. *Educational Psychologist*, 44(3), 202–208. <https://doi.org/10.1080/00461520903029030>
- Södervik, I. (2016). Understanding biological concepts at university – Investigating learning in medical and teacher education. *Annales Universitatis Turkuensis*, B, 421. Painsalama. <https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/125029/AnnalesB421S%c3%b6dervik.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Södervik, I., Katajavuori, N., Kapp, K., Laurén, P., Aejmelaeus, M. M., & Sívén, M. (2021). Fostering performance in hands-on laboratory work with the use of mobile augmented reality (AR) glasses. *Education Sciences*, 11(2), 816. <https://doi.org/10.3390/educsci11120816>



- 
- Södervik, I., Mikkilä-Erdmann, M., & Chi, M. T. H. (2019). Conceptual change challenges in medicine during professional development. *International Journal of Educational Research*, 98, 159–170. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2019.07.003>
- Södervik, I., Mikkilä-Erdmann, M., & Vilppu, H. (2014). Promoting the understanding of photosynthesis among elementary school student teachers through text design. *Journal of Science Teacher Education*, 25, 581–600. <https://doi.org/10.1007/s10972-013-9373-9>
- Södervik, I., Vilppu, H., Österholm, E., & Mikkilä-Erdmann, M. (2017). Medical students' biomedical and clinical knowledge: Combining longitudinal design, eye tracking and comparison with residents' performance. *Learning and Instruction*, 52, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.06.002>
- Södervik, I., Virtanen, V., & Mikkilä-Erdmann, M. (2015). Challenges in understanding photosynthesis in a university introductory biosciences class. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13, 733–750. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9571-8>
- Taajamo, M., & Puhakka, E. (2019). Opetuksen ja oppimisen kansainvälinen tutkimus TALIS 2018. Perusopetuksen vuosiluokkien 7–9 ensituloksia, osa 1. Raportit ja selvitykset 2019, 8. Opetushallitus.
- Tal, T., Lavie Alon, N., & Morag, O. (2014). Exemplary practices in field trips to natural environments. *Journal of Research in Science Teaching*, 51, 430–461. <https://doi.org/10.1002/tea.21137>
- Tal, T., Levin-Peled, R., & Levy, K. S. (2019). Teacher views on inquirybased learning. *Innovation in Education*, 1(2). <https://doi.org/10.1186/s42862-019-0004-y>
- Tan, S., & Waugh, R. (2014). Use of virtual-reality in teaching and learning molecular biology. Teoksessa Y. Cai (Toim.), *3D Immersive and Interactive Learning* (ss. 17–43). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-4021-90-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-4021-90-6_2)
- Taylor, K., & Nolen, S. (2005). *Classroom assessment: Supporting teaching and learning in real classrooms*. Pearson Education.
- Taylor, M. (1988). Conceptual perspective taking: Children's ability to distinguish what they know from what they see. *Child Development*, 59(3), 703–718.
- Taylor, N., Quinn, F., Jenkins, K., Miller-Brown, H., Rizk, N., Prodromou, D., Serow, P., & Taylor, S. (2019). Education for sustainability in the secondary sector—A review. *Journal of Education for Sustainable Development*, 13(1), 102–122. <https://doi.org/10.1177/0973408219846675>
- Telenius, M., Yli-Panula, E., Vesterinen, V.-M., & Vauras, M. (2020). Argumentation within upper secondary school student groups during virtual science learning: Quality and quantity of spoken argumentation. *Education Sciences*, 10(393), 1–18. <https://doi.org/10.3390/educsci10120393>

- Tengö, M., & Andersson, E. (2022). Solutions-oriented research for sustainability: Turning knowledge into action. *Ambio*, 51, 25–30. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01492-9>
- Tester-Jones, M., White, M. P., Elliott, L. R., Weinstein, N., Grellier, J., Economou, T., Bratman, G. N., Cleary, A., Gascon, M., Korpela, K. M., Nieuwenhuijsen, M., O'Connor, A., Ojala, A., van den Bosch, M., & Fleming, L. E. (2020). Results from an 18 country cross-sectional study examining experiences of nature for people with common mental health disorders. *Scientific Reports*, 10(1), 19408. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75825-9>
- Thacker, I., & Sinatra, G. M. (2022). Supporting climate change understanding with novel data, estimation instruction, and epistemic prompts. *Journal of Educational Psychology*, 114(5), 910–927. <https://doi.org/10.1037/edu0000729>
- Thompson, C. P. (2003). Autobiographical memory. Teoksessa J. W. Guthrie, J. M. Braxton, J. M. Cooper, S. R. Goldman, S. P. Heyneman, J. E. Koppich, C. Kridel, C.E. Smrekar, & J. Hilley (Toim.), *Encyclopedia of education* (2. p., vol. 5, ss. 1588–1591). Thomson Gale.
- Thompson, C. W., Aspinall, P., & Montarzino, A. (2008). The childhood factor: Adult visits to green places and the significance of childhood experience. *Environment and Behavior*, 40(1), 111–143. <https://doi.org/10.1177/0013916507300119>
- Thompson, P. (2015). How we got to now: Why the US and Europe went different ways on GMOs. Blogikirjoitus. Luettu Maaliskuu 29, 2023, <https://theconversation.com/how-we-got-to-now-why-the-us-and-europe-went-different-ways-on-gmos-48709>
- Tidemand, S., & Nielsen, J. A. (2017). The role of socioscientific issues in biology teaching: From the perspective of teachers. *International Journal of Science Education*, 39(1), 44–61. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1264644>
- Tilbury, D. (1995, 2006). Environmental education for sustainability: Defining the new focus of environmental education in the 1990s. *Environmental Education Research*, 1(2), 195–212. <https://doi.org/10.1080/1350462950010206>
- Tilbury, D. (2007). Learning based change for sustainability: perspectives and pathways. Teoksessa A. E. J. Wals (Toim.), *Social learning towards a sustainable world. Principles, perspectives, and praxis* (ss. 117–131). Wageningen Academic Publishers.
- Tinbergen, N. (1963). On aims and methods of ethology. *Zeitschrift Für Tierpsychologie*, 20, 410–433.

- 
- Tinch, R., Bugter, R., Blicharska, M., Harrison P., Haslett, J., Jokinen, P., Mathieu, M., & Primmer, E. (2018). Arguments for biodiversity conservation: Factors influencing their observed effectiveness in European case studies. *Biodiversity Conservation*, 27, 1763–1788. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1549-3>
- Tippett, C. D. (2010). Refutation text in science education: A review of two decades of research. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8, 951–970. <https://doi.org/10.1007/s10763-010-9203-x>
- Toivonen, H. (2023). *Mitä tekoöly on? - 100 kysymystä ja vastausta*. Kustannus-osakeyhtiö Teos.
- Toulmin, S. E. (1958). *Uses of argument*. Cambridge University Press. Suom. T. Kilpeläinen (2015), *Argumentit. Luonne ja käyttö*. Eurooppalaisen filosofian seura ry / niin & näin.
- Tran, N. (2011). The relationship between students' connections to out-of-school experiences and factors associated with science learning. *International Journal of Science Education*, 33(12), 1625–1651. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.516030>
- Treffinger, D. J., Isaksen, S. G., & Stead-Dorval, M. S. (2006). *Creative problem solving. An introduction* (4. p.). Prufrock Press Inc.
- Trinidad, J. E. (2019). Understanding student-centred learning in higher education: students' and teachers' perceptions, challenges, and cognitive gaps. *Journal of Further and Higher Education*, 44(8), 1–11. <https://doi.org/10.1080/0309877X.2019.1636214>
- Trombulak, S. C., Omland, K. S., Robinson, J. A., Lusk, J. J., Fleischner, T. L., & Domroese, M. (2004). Principles of conservation biology: Recommended guidelines for conservation literacy from the Education Committee of the Society for Conservation Biology. *Conservation Biology*, 18(5), 1180–1190. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2004.01851.x>
- Trundle, K. C., & Bell, R. L. (2010). The use of a computer simulation to promote conceptual change: A quasi-experimental study. *Computers & Education*, 54(4), 1078–1088. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.10.012>
- Tyrväinen, L., Korpela, K., Silvennoinen, H., & Ylen, M. (2008). The importance of nature to Finns and the relationship of the use of green areas with perceived health and restorative experiences. *Japanese Journal of Hygiene*, 63(2), 51.
- Uitto, A. (2012a). Näkökulmia biologian opettamisen kehittämiseksi. Teoksessa P. Kärnä, L. Houtsonen, & T. Tähkä (Toim.), *Luonnontieteiden opetuksen kehittämishaasteita* (ss. 29–46). Koulutuksen seurantaraportit, 10. Opetushallitus.

- Uitto, A. (2012b). Vastuu ympäristöstä, hyvinvoinnista ja kestävästä tulevaisuudesta. Teoksessa E. K. Niemi (Toim.), *Aihekokonaisuuksien tavoitteiden toteutumisen seuranta-arviointi 2010* (ss. 157-183). Koulutuksen seurantaraportit, 1. Opetushallitus.
- Uitto, A. (2014). Interest, attitudes and self-efficacy beliefs explaining upper-secondary school students' orientation towards biology-related careers. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 12(6), 1425–1444. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9516-2>
- Uitto, A. (2016). Tutkimuksellinen lähestymistapa ympäristöopin opetuksessa. Teoksessa K. Juuti (Toim.), *Ympäristöoppia opettamaan* (ss.115–132). PS-kustannus.
- Uitto, A. (painossa). Scientific literacy and action competence in science education: A review of educational research. Teoksessa L.-A. Wolff, & F. Skarstein (Toim.), *Frontier studies in sustainable science education – Exploring roles and challenges for science education in relation to sustainability education*. Springer Nature.
- Uitto, A., Boeve-de Pauw, J., & Saloranta, S. (2015). Participatory school experiences as facilitators for adolescents' ecological behavior. *Journal of Environmental Psychology*, 43, 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2015.05.007>
- Uitto, A., Juuti, K., Lavonen, J., Byman, R., & Meisalo, V. (2011). Secondary school students' interests, attitudes and values concerning school science related to environmental issues in Finland. *Environmental Education Research*, 17(2), 167–186. <https://doi.org/10.1080/13504622.2010.522703>
- Uitto, A., Juuti, K., Lavonen, J., & Meisalo, V. (2006). Students' interest in biology and their out-of-school experiences. *Journal of Biological Education*, 40(3), 124–129. <https://doi.org/10.1080/00219266.2006.9656029>
- Uitto, A., Kesler, M., & Aivelo, T. (n.d.). Biologian ainedidaktiikka. Helsingin yliopiston biologian didaktiikan aineen- ja luokanopettajan koulutuksen taustamateriaalia. Verkkomateriaali, Kasvatustieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto. Luettu Huhtikuu 10, 2024, <https://blogs.helsinki.fi/biologianainedidaktiikka/>
- Uitto, A., & Kärnä, P. (2014, Tammikuu 1). Teaching methods enhancing grade nine students' performance and attitudes towards biology. Teoksessa C. P. Constantinou, N. Papadouris, & A. Hadjigeorgiou (Toim.), *Ebook Proceedings of the ESERA 2013 Conference: Science Education Research For Evidence-based Teaching and Coherence in Learning*. Part 2, ss. 315–321. [https://www.researchgate.net/publication/281345526\\_E-Book\\_Proceedings\\_of\\_the\\_ESERA\\_2013\\_Conference\\_Science\\_Education\\_Research\\_For\\_Evidence-based\\_Teaching\\_and\\_Coherence\\_in\\_Learning](https://www.researchgate.net/publication/281345526_E-Book_Proceedings_of_the_ESERA_2013_Conference_Science_Education_Research_For_Evidence-based_Teaching_and_Coherence_in_Learning).

- 
- Uitto, A., Kärnä, P., & Hakonen, R. (2013). Työ- ja toimintatapojen yhteys biologian osaamiseen ja biologiasta pitämiseen peruskoulussa. *LUMAT: Luonnontieteiden, matematiikan ja teknologian opetuksen tutkimus ja käytäntö*, 1(3), 263–278. <https://journals.helsinki.fi/lumat/article/view/1105>
- Uitto, A., & Saloranta, S. (2017). Subject teachers as educators for sustainability: Survey study. *Education Sciences*, 7(8), 1–19. <https://doi.org/10.3390/educsci7010008>
- Ullah, M., Ul Amin, S., Munsif, M., Safaev, U., Khan, H., Khan, S., & Ullah, H. (2022). Serious games in science education: A systematic literature review. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 4(3), 189–209. <https://doi.org/10.1016/j.vrih.2022.02.001>
- Ummels, M. H. J., Kamp, M. J. A., De Kroon, H., & Boersma, K. Th. (2015). Designing and evaluating a context-based lesson sequence promoting conceptual coherence in biology. *Journal of Biological Education*, 49(1), 38–52. <http://dx.doi.org/10.1080/00219266.2014.882380>
- UN (United Nations) (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. <https://sdgs.un.org/sites/default/files/publications/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf>
- UN (United Nations) (2019). Global sustainable development report 2019: The future is now – Science for achieving sustainable development. United Nations. <https://sustainabledevelopment.un.org/gedr2019>
- UN (United Nations) (2022). Convention of Biological Biodiversity. United Nations Biodiversity Conference. COP 15. 2022, 7-19 December 2022, Montreal, Canada.
- UNESCO. (2017). Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives. UNESCO EBooks. <https://doi.org/10.54675/cgba9153>
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (2020). Education for sustainable development. A roadmap. *Luettu Helmikuu 6, 2024*, <https://www.gcedclearinghouse.org/sites/default/files/resources/200782eng.pdf>
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (2021). Reimagining our futures together - A new social contract for education. *Luettu Kesäkuu 1, 2024*, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000379707>
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) (2022). Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence. *Luettu Lokakuu 20, 2024*, <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000381137>

- Upreti, G., Liaupsin, C., & Koonce, D. (2010). Stakeholder utility: Perspectives on school-wide data for measurement, feedback, and evaluation. *Education and Treatment of Children*, 33(4), 497–511. <https://doi.org/10.1353/etc.2010.0001>
- Urry, L., Cain, M., Wasserman, S., Minorsky, P., & Reece, J. (2019). *Campbell biology* (12. p.). Pearson.
- Vaarama, M., Moisio, P., & Karvonen, S. (2010). Johdanto. Teoksessa M. Vaarama, P. Moisio & S. Karvonen (Toim.), *Suomalaisten hyvinvointi 2010* (ss. 10–18). Terveysten ja hyvinvoinnin laitos.
- Vainikainen, M.-P., & Greiff, S. (2022). Ongelmanratkaisua opettamassa. Teoksessa N. Heinonen, P. Nilivaara, M. Saarnio, & M.-P. Vainikainen (Toim.), *Laaja-alainen osaaminen koulussa. Ajattelijana ja oppijana kehittyminen* (ss. 57–67). Gaudeamus.
- Vainikainen, M.-P., & Koivuhovi, S. (2022). Laaja-alaisena osaajana kehittyminen: Kokoava teoreettinen viitekehys. Teoksessa N. Heinonen, P. Nilivaara, M. Saarnio, & M.-P. Vainikainen (Toim.), *Laaja-alainen osaaminen koulussa. Ajattelijana ja oppijana kehittyminen* (ss. 39–56). Gaudeamus.
- Vainikainen, M.-P., & Nilivaara, P. (2022). Laaja-alainen osaaminen uuden vuosituhatosen koulutuspoliittisissa keskusteluissa. Teoksessa N. Heinonen, P. Nilivaara, M. Saarnio, & M.-P. Vainikainen (Toim.), *Laaja-alainen osaaminen koulussa. Ajattelijana ja oppijana kehittyminen* (ss. 13–22). Gaudeamus.
- van der Zande, P. A. M., Akkerman, S. F., Brekelmans, M., Waarlo, A. J., & Vermunt, J. D. (2012). Expertise for teaching biology situated in the context of genetic testing. *International Journal of Science Education*, 34(11), 1741–1767. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.671557>
- van Mierlo, B., & Beers, P. J. (2020). Understanding and governing learning in sustainability transitions: A review. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 34, 255–269. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2018.08.002>
- van Uum, M., Verhoeff, R. P., & Peeters, M. (2016). Inquiry-based science education: Towards a pedagogical framework for primary school teachers. *International Journal of Science Education*, 38(3), 1–20. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1147660>
- van Zee, E. H., Iwasyk, M., Kurose, A., Simpson, D., & Wild, J. (2001). Student and teacher questioning during conversations about science. *Journal of Research in Sciences Teaching*, 38(2), 159–190. [https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200102\)38:2<159::AID-TEA1002>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200102)38:2<159::AID-TEA1002>3.0.CO;2-J)
- Vančugovienė, V., Lehtinen, E., & Södervik, I. (2024). The impact of inquiry-based learning in a botanical garden on conceptual change in biology. *International Journal of Science Education*, 1–25. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2354542>

- 
- Vančugovienė, V., McMullen, J., Lehtinen, E., & Södervik, I. (2023). Exploring individual differences in photosynthesis and respiration knowledge in the context of green plants. *Journal of Biological Education*, 1–20. <https://doi.org/10.1080/00219266.2023.2293762>
- Vare, P. (2022). The competence turn. Teoksessa P. Vare, N. Lausset, & M. Rieckmann (Toim.), *Competences in education for sustainable development. Critical perspectives, Sustainable Development Goals Series* (ss. 11–18). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-91055-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-030-91055-6_2)
- Vare, P., Arro, G., de Hamer, A., Del Gobbo, G., de Vries, G., Farioli, F., Beltran, C., Kangur, M., Mayer, M., Millican, R., Nijdam, C., Réti, M., & Zachariou, A. (2019). Devising a competence-based training program for educators of sustainable development: Lessons learned. *Sustainability*, 11(7), 1890. <https://doi.org/10.3390/su11071890>
- Varelas, M., Kane, J. M., & Wylie, C. D. (2011). Young African American children's representations of self, science, and school: Making sense of difference. *Science Education*, 95, 824–851. <https://doi.org/10.1002/sce.20447>
- Varis, K., Jäppinen, I., Kärkkäinen, S., Keinonen, T., & Väyrynen, E. (2018). Promoting participation in society through science education. *Sustainability*, 10(10), 3412. <https://doi.org/10.3390/su10103412>
- Vartiainen, H., Liljeström, A., & Enkenberg, J. (2012). Design-oriented pedagogy for technology-enhanced learning to cross over the borders between formal and informal environments. *Journal of Universal Computer Science*, 18(15), 2097–2119.
- Veermanders, K., & Jaakkola, T. (2019). Pedagogy in educational simulations and games. Teoksessa Y. Cai, W. van Joolingen, & Z. Walke (Toim.), *VR, simulations and serious games for education gaming media and social effects* (ss. 5–14). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2844-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2844-2_2)
- Venville, G. J., & Dawson, V. M. (2010). The impact of a classroom intervention on grade 10 students' argumentation skills, informal reasoning, and conceptual understanding of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(8), 952–977. <https://doi.org/10.1002/tea.20358>
- Verhoeff, R. P., Waarlo, A. J., & Boersma, K. T. (2008). Systems modeling and the development of coherent understanding of cell biology. *International Journal Science Education*, 30, 543–568. <https://doi.org/10.1080/09500690701237780>
- Vesterinen, O., & Mylläri, J. (2014). Peleistä pelillisyyteen. Teoksessa L. Krokfors, M. Kangas, & K. Kopisto (Toim.), *Oppiminen pelissä. Pelit, pelillisyyden ja leikillisyyden opetuksessa* (ss. 56–66). Vastapaino.

- Vincent-Lancrin, S., Urgel, J., Kar, S., & Jacotin, G. (2019). *Measuring Innovation in Education 2019: What Has Changed in the Classroom? Educational Research and Innovation*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264311671-en>
- von Bingen, H., Hildebrandt, R. & Gloning, T. (2010). *Physica: Liber subtilitatum diversarum naturarum creaturarum – Textkritische Ausgabe*. Berlin, New York: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110215908>
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction, 4*, 45–69. [https://doi.org/10.1016/0959-4752\(94\)90018-3](https://doi.org/10.1016/0959-4752(94)90018-3)
- Vosniadou, S. (2012). Reframing the classical approach to conceptual change: Preconceptions, misconceptions and synthetic models. Teoksessa B. Frazer, & K. Tobin (Toim.), *Second International handbook of science education* (ss. 119–130). Springer.
- Vosniadou, S. (2013). Conceptual change in learning and instruction – The framework theory approach. Teoksessa S. Vosniadou (Toim.), *International handbook on conceptual change research* (2. p., ss. 11–30). Routledge.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology, 24*, 535–585. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(92\)90018-W](https://doi.org/10.1016/0010-0285(92)90018-W)
- Vosniadou, S., & Ioannides, C. (1998). From conceptual development to science education: A psychological point of view. *International Journal of Science Education, 20*, 1213–1230.
- Voulvoulis, N., Giakoumis, T., Hunt, C., Kioupi, V., Petrou, N., Souliotis, I., Vaghela, C., & Wan Rosely, W. (2022). Systems thinking as a paradigm shift for sustainability transformation. *Global Environmental Change, 75*, 102544. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102544>
- Vygotski, L. S. (1994). The development of academic concepts in school aged children. (Original in 1934). Teoksessa R. van der Veer, & J. Valsiner (Toim.), *The Vygotsky reader* (ss. 355–370). Blackwell.
- Värri, V-M. (2019). *Kasvatus ekokriisin aikakaudella* (2. p.). Vastapaino.
- Wade, R. (2008). Education for sustainability: Challenges and opportunities. Teoksessa J. Corridi (Toim.), *Policy & Practice: A Development education review* (ss. 30–48). NI Ltd.
- Wallas, G. (1926). *The Art of Thought*. (Reprint from 2014). Solis Press.
- Wals, A. E. J., Weakland J. P., & Corcoran P. B. (2017). Introduction. Teoksessa P. B. Corcoran, J. P. Weakland, & A. E. J. Wals (Toim.), *Envisioning futures for environmental and sustainability education* (ss. 19–29). Wageningen Academic Publishers.



- 
- Walsh, J. A. (2012). What's on the genetics test? *The American Biology Teacher*, 74(1), 15–19. <https://doi.org/10.1525/abt.2012.74.1.5>
- Wandersee, J., & Schussler E. (1999). *Preventing plant blindness*. *American Biology Teacher*, 61(2), 82–86. <https://doi.org/10.2307/4450624>
- Wang, Y., Sommier, M., & Vasques, A. (2022). Sustainability education at higher education institutions: Pedagogies and students' competences. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 23(8), 174–193. <https://doi.org/10.1108/IJSHE-11-2021-0465>
- Wang-Erlandsson, L., Tobian, A., van der Ent, R. J., Fetzer, I., te Wierik, S., Porkka, M., Staal, A., Jaramillo, F., Dahlmann, H., Singh, C., Greve, P., Gerten, D., Keys, P. W., Gleeson, T., Cornell, S. E., Steffen, W., Bai, X., & Wierick, S. T. (2022). A planetary boundary for green water. *Nature reviews, Earth & Environment*, 3(6), 380–392. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00287-8>
- Warnock, C., & Duncan, J. (2019). Project-based learning in initial teacher training curricula: Incorporating a visual method to enhance student agency and reflexive engagement in the learning process. *Journal of the European Teacher Education Network*, 14, 64–75. <http://nrl.northumbria.ac.uk/id/eprint/39037>
- Weaver, G. C. (1998). Strategies in K-12 science instruction to promote conceptual change. *Science Education*, 82, 455–472. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(199807\)82:4<455::AID-SCE3>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(199807)82:4<455::AID-SCE3>3.0.CO;2-A)
- Wei, C. A., Beardsley, P. M., & Labov, J. B. (2017). Evolution education across the life sciences: Making biology education make sense. *CBE—Life Sciences Education*, 11(1). <https://doi.org/10.1187/cbe.11-12-0111>
- Wennersten, L., Wanselin, H., Wikman, S., & Lindahl, M. (2020). Interpreting students' ideas on the availability of energy and matter in food webs. *Journal of Biological Education*, 57(1), 3–23, <https://doi.org/10.1080/00219266.2020.1858935>
- Westoby, M., Yates, L., Holland, B., & Halliwell, B. (2023). Phylogenetically conservative trait correlation: quantification and interpretation. *Journal of Ecology*, 111(10), 2105–2117. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14150>
- White, E. (2009). Are your assessments literate? Some fundamental questions regarding effective classroom-based assessment. *OnCUE Journal*, 3(1), 3–25.
- Wiek, A., Bernstein, M. J., Foley, R. W., Cohen, M., Forrest, N., Kuzdas, C., Kay, B., & Withycombe Keeler, L. (2016). Operationalising competencies in higher education for sustainable development. Teoksessa M. Barth, G. Michelsen, M. Rieckmann, & I. Thomas, (Toim.), *Handbook of Higher Education for Sustainable Development* (ss. 241–260). Routledge.

- Wiek, A., Withycombe, L., Redman, C. L., & Banas Mills, S. (2011a). Moving forward on competence in sustainability research and problem solving. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 53(2), 3–12. <https://doi.org/10.1080/00139157.2011.554496>
- Wiek, A., Withycombe, L., Redman, C., & Banas Mills, S. (2011b). On competence in moving forward sustainability research and problem solving. *Environment*, 53, 3–12. <https://doi.org/10.1080/00139157.2011.554496>
- Wiles, J. R. (2010). Overwhelming scientific confidence in evolution and its centrality in science education and the public disconnect. *Science Education Review*, 9(1), 18–27.
- Wilhelmsson, B., Ottander, C., & Lidestav, G. (2012). Teachers' intentions with outdoor teaching in school forests: Skills and knowledge teachers want students to develop. *Nordic Studies in Science Education*, 8(1), 26–42. <https://doi.org/10.5617/nordina.357>
- Wilmot, M., & Naidoo, D. (2014). “Keeping things straight”: The representation of sexualities in life orientation textbooks. *Sex Education*, 14(3), 323–337. <https://doi.org/10.1080/14681811.2014.896252>
- Windsor, D. A. (1998). Most of the species on Earth are parasites. *International Journal of Parasitology*, 28(12), 1939–1941. [https://doi.org/10.1016/s0020-7519\(98\)00153-2](https://doi.org/10.1016/s0020-7519(98)00153-2).
- Winje, Ø., & Løndal, K. (2021). Theoretical and practical, but rarely integrated: Norwegian primary school teachers' intentions and practices of teaching outside the classroom. *Journal of Outdoor and Environmental Education*, 24, 133–150. <https://doi.org/10.1007/s42322-021-00082-x>
- Wiser, M., & Amin, T. (2001). “Is heat hot?” Inducing conceptual change by integrating everyday and scientific perspectives on thermal phenomena. *Learning and Instruction*, 11, 331–355. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(00\)00036-0](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(00)00036-0)
- Withrow-Clark, R., Siddall, K., & Kemsley, A. (2015). Outdoor education and recreation in cities. Teoksessa A. Russ (Toim.), *Urban Environmental Education* (ss. 47–50). Ithaca: Cornell University Civic Ecology Lab.
- Wolff, L-A. (2004). Ympäristökasvatus ja kestävä kehitys: 1960-luvulta nykypäivään. Teoksessa H. Cantell (Toim.), *Ympäristökasvatuksen käsikirja* (ss. 26–29). PS-kustannus.
- Wolff, L-A. (2022a). Biodiversity Education. Teoksessa S. Idowu, R. Schmidpeter, N. Capaldi, L. Zu, M. Del Baldo, & R. Abreu (Toim.), *Encyclopedia of Sustainable Management*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-02006-4\\_1136-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02006-4_1136-1)

- 
- Wolff, L.-A. (2022b). Transformative Learning. Teoksessa S. Idowu, R. Schmidpeter, N. Capaldi, L. Zu, M. Del Baldo, & R. Abreu, R. (Toim.), *Encyclopedia of Sustainable Management*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-02006-4\\_1135-1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-02006-4_1135-1)
- Wolff, L.-A., Laherto, A., Cheah, S. L., Vivitsou, M., & Autio, M. (2022). Transformation toward sustainability in Finnish teacher education policy: Promises and shortcomings. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/educ.2022.856237>
- Wolff, L.-A., Skarstein, T. H., & Skarstein, F. (2020). The Mission of Early Childhood Education in the Anthropocene. *Education Sciences*, 10(2), 27. <https://doi.org/10.3390/educsci10020027>
- Woodroffe, R., Thirgood, S., & Rabinowitz, A. (Toim.) (2005). *People and Wildlife, Conflict or Co-existence?* Cambridge University Press.
- WRI (World Resources Institute), and IUCN (The World Conservation Union)/UNEP (United Nations Environment Program) (1992). *Global biodiversity strategy: Guidelines for action to save and use Earth's Biotic wealth sustainably and equitably*. Washington, DC: WRI, IUCN/UNEP. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/29357>
- WWF (World Wildlife Fund) (2022). *Living Planet Report 2022 – Building a nature-positive society*. R.E.A. Almond, M. Grooten, D. Juffe Bignoli, & T. Petersen (Toim.). Gland, Switzerland. <https://www.wwf.org.uk/sites/default/files/2023-05/WWF-Living-Planet-Report-2022.pdf>
- Wörner, S., Kuhn, J., & Scheiter, K. (2022). The best of two worlds: A systematic review on combining real and virtual experiments in science education. *Review of Educational Research*, 92(6), 911–952. <https://doi.org/10.3102/00346543221079417>
- Yanto, B. E., Subali, B., & Suyanto, S. (2019). Improving students' scientific reasoning skills through the three levels of inquiry. *International Journal of Instruction*, 12, 689–704. <https://doi.org/10.29333/iji.2019.12444a>
- Ylioppilastutkintolautakunta (2013). *Biologian ylioppilaskoe, syksy 2013*. Luettu Maaliskuu 27, 2024, <https://yle.fi/Aihe/Artikkeli/2015/12/15/2013-Syksy-Biologia>.
- Ylioppilastutkintolautakunta (2024). *Tietopalvelut, tilastot*. Luettu Heinäkuu 1, 2024, <https://www.ylioppilastutkinto.fi/fi/tietopalvelut/tilastot>
- Yli-Panula, E., Jeronen, E., Inkinen, J., & Sohlman, S. (2019). Digitaaliset opetusmenetelmät biologian opetuksessa ja oppimisessa. Teoksessa M. Rautiainen, & M. Tarnanen (Toim.), *Tutkimuksesta luokkahuoneisiin* (ss. 425–443). Ainedidaktisia tutkimuksia, 15. <http://hdl.handle.net/10138/298542>
- Yli-Panula, E., Jeronen, E., Lemmetty, P., & Pauna, A. (2018). Teaching methods in biology promoting biodiversity education. *Sustainability*, 10(10), 3812. <https://doi.org/10.3390/su10103812>

- Yli-Panula, E., Jeronen, E., & Mäki, S. (2022). School culture promoting sustainability in student teachers' views. *Sustainability*, *14*(12), 7440. <https://doi.org/10.3390/su14127440>
- Yli-Panula, E., Jeronen, E., & Palmberg, I. (2016). Opettajaopiskelijoiden biologian ja maantiedon perustiedon hallinta ja käsitykset perustiedosta. Teoksessa H-M. Pakula, E. Kouki, H. Silfverberg, & E. Yli-Panula (Toim.), *Uudistuva ja uusiutuva ainedidaktiikka*, (ss. 59–74). Ainedidaktisia tutkimuksia, 11. <http://hdl.handle.net/10138/174336>
- Yli-Panula, E., Jeronen, E., Seiko-Ahlström, H., & Ruotsalainen, E. (2017). Important biological issues for elementary pupils – A study of elementary pre-service teachers' conceptions. *Nordic Studies in Science Education*, *13*(2), 180–196. <https://doi.org/10.5617/NORDINA.2579>
- Yli-Panula, E., Jeronen, E., & Telenius, M. (2021a). Argumentaatiotaitojen harjoittaminen ekosysteemiopetuksessa: Aiheena yhteiskunnallisuusluonnontieteelliset ilmiöt. Teoksessa E. Luukka, E., Palomäki, A., Pihkala-Posti, L., & Hanska, J. (Toim.), *Opetuksen ja oppimisen ytimessä* (ss. 222–247). Ainedidaktisia tutkimuksia, 19. <http://hdl.handle.net/10138/333969>
- Yli-Panula, E., Jeronen, E., Tringham, M., & Somervuori, I. (2021b). Subject student teachers' views and their competencies in sustainability education. Teoksessa R. Hildén, P. Portaankorva-Koivisto, & T. Mäkipää (Toim.), *Aineenopetus ja aiheenopetus* (ss. 180–199). Ainedidaktisia tutkimuksia, 20. <http://hdl.handle.net/10138/340235>
- Yli-Panula, E., & Pollari, H. (2013). Opettajaopiskelijoiden tietämys käsitteiden lajintuntemus, biodiversiteetti ja kestävä kehitys välisistä suhteista. Teoksessa E. Yli-Panula, H. Silfverberg, & E. Kouki (Toim.), *Opettaminen valinkauhassa* (ss. 35–49). Ainedidaktisia tutkimuksia, 7. <http://hdl.handle.net/10138/42530>
- Yli-Panula, E., Södervik, I., Jeronen, E., & Rantala, H. (2024). Finnish primary school student teachers' systems thinking regarding sustainability in connection with reproduction, biodiversity and sustainable development. *Nordic Studies in Science Education*, *20*(2). 191–205. <https://doi.org/10.5617/nordina.10385>
- Yoon, S. A., Goh, S.-E., & Park, M. (2018). Teaching and learning about complex systems in K–12 science education: A review of empirical studies 1995–2015. *Review of Educational Research*, *88*(2), 285–325. <https://doi.org/10.3102/00346543177460>
- Young, M. (2008). From constructivism to realism in the sociology of the curriculum. Teoksessa G. J. Kelly, A. Luke, & J. Green (Toim.), *Review of research in education*, *32*, 1–28. American Educational Research Association. <https://doi.org/10.3102/0091732X07308969>

- 
- Young, M. (2014). Powerful knowledge as a curriculum principle. Teoksessa M. Young, D. Lambert, C. Roberts, & M. Roberts (Toim.), *Knowledge and the future school: Curriculum and social justice* (ss. 65–88). Bloomsbury Academic.
- Zeidler, D. L., Walker, K. A., Ackett, W. A., & Simmons, M. L. (2002). Tangled up in views: Beliefs in the nature of science and responses to socioscientific dilemmas. *Science Education*, 86(3), 343–367. <https://doi.org/10.1002/sce.10025>
- Zhai, J. (2015). *Teaching Science in Out-of- School Settings. Pedagogies for Effective Learning*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-591-4>
- Zhai, J., & Dillon, J. (2014). Communicating science to students: Investigating professional botanic garden educators' talk during guided school visits. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(4), 407–429. <https://doi.org/10.1002/tea.21143>
- Zhang, J., Tao, D., Chen, M.-H., Sun, Y., Judson, D., & Naqvi, S. (2018). Co-organizing the collective journey of inquiry with idea thread mapper. *Journal of the Learning Sciences*, 27(3), 390–430. <https://doi.org/10.1080/10508406.2018.1444992>
- Zhao, Y. (2012). *World Class Learners. Educating Creative and Entrepreneurial Students*. Naesp & Corwin.
- Zindy, R., Sjöström, J., & Eilks, I. (2020). A multi-perspective reflection on how indigenous knowledge and related ideas can improve science education for sustainability. *Science & Education*, 29, 145–185. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00100-x>
- Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35–62. <https://doi.org/10.1002/tea.10008>
- Åhlberg, M. (1990). Käsitekarttatekniikka ja muut vastaavat graafiset tiedon-esittämistekniikat opettajan ja oppilaiden työvälineinä. *Kasvatustieteiden tiedekunnan tutkimuksia*, 30. Joensuun yliopisto.
- Åhlberg, M. (2013). Concept mapping as an empowering method to promote learning, thinking, teaching and research. *Journal for Educators, Teachers and Trainers*, 4(1), 25–35.
- Åhlberg, M., & Kaivola, T. (2006). Käsitekartat, Vee-heuristiikka ja argumentaatioanalyysi kestävästä kehitystä edistävän tutkivan opiskeluprosessin apuvälineinä. Teoksessa T. Kaivola, & L. Rohweder (Toim.), *Korkeakouluopetus kestäväksi: opas YK:n kestävästä kehitystä edistävän koulutuksen vuosikymmentä varten*. Opetusministeriön julkaisuja, 4, 74–83. Opetusministeriö. <http://urn.fi/URN:ISBN:952-485-091-5>

- Özer Keskin, M., Keskin Samanci, N., & Yaman, H. (2013). Argumentation based bioethics education: Sample implementation on genetically modified organisms (GMOs) and genetic screening tests. *Educational Research and Reviews*, 8(16), 1383–1391.
- Özgür, S. (2013). The persistence of misconceptions about the human blood circulatory system among students in different grade levels. *International Journal of Environmental & Science Education*, 8(2), 255–268. <https://doi.org/10.12973/ijese.2013.206a>

---

## KIRJOITTAJAT

*Tuomas Aivelo* on (FT, ekologian ja evoluutiobiologian dosentti, HY; tiedekasvatuksen dosentti, OY) on tiedeviestinnän, erityisesti biodiversiteetin ja yhteiskunnan, apulaisprofessori Leidenin yliopistossa ja akatemiattutkija Helsingin yliopistossa. Hänen alaansa on poikkitieteellinen monilajinen tutkimus. Hän johtaa monitieteistä kaupunkirottaprojektia, joka tutkii monitieteisesti ja -taiteisesti rottien elämää ihmisten kanssa Helsingin kaupungin alueella. Hänen kiinnostuksensa kohteita ovat myös biologian käsitteiden monimerkityksisyys ja mallit, kansalaistieteen käytänteet ja posthumanistiset sekä queer-teoreettiset lähestymistavat. Aivelo on kouluttanut biologian aineenopettajaopiskelijoita ja tuottanut opetusmateriaaleja.

ORCID-ID: <https://orcid.org/0000-0003-4285-7179>

*Sari Havu-Nuutinen* (KT, Itä-Suomen yliopisto) on kasvatustieteen, erityisesti alkukasvatuksen professori. Hän työskentelee Itä-Suomen yliopistossa opettajankouluttajana varsinkin alkukasvatuksessa. Hän on kansainvälisesti verkottunut tutkija ja työskennellyt vierailevana tutkijana Ohion yliopistossa. Havu-Nuutisen tutkimus kohdistuu lasten luonnontieteen oppimiseen ja opetukseen sekä oppimisympäristöjen tutkimiseen. Hän on osallistunut aktiivisesti alansa kehittämistoimintaan kansainvälisissä ja kansallisissa hankkeissa kuten LUMA SUOMI, Creative Little Scientist, Suomen Akatemian FINSCI-hanke. Hän on johtanut kansainvälistä maisteriohjelmaa ja ohjaa väitöstutkimuksia Itä-Suomen yliopistossa.

ORCID-ID: <https://orcid.org/0000-0001-5502-6361>

*Eila Jeronen* (FT, kasvatustieteen/ympäristökasvatuksen dosentti, OY; kestävän kehityksen kasvatuksen dosentti, HY; kasvatustieteen/ biologian didaktiikan dosentti, LY) on emerita Oulun yliopiston kasvatustieteiden ja psykologian tiedekunnassa. Hänen tutkimusalueitaan ovat opettajankoulutus ja luonnontieteiden, ympäristökasvatuksen, kestävän kehityksen kasvatuksen ja terveystieteiden opetus. Jeronen on vastannut aineenopettajan koulutuksesta, luokanopettajan ja varhaiskasvatuksen biologian ja maantieteen koulutuksista sekä ympäristökasvatuksen ja terveystiedon koulutuksista. Jeronen on johtanut Suomen Akatemian SEED-hanketta, HERO(dot)eNEWS, MINERVA -hanketta sekä ECOSCHOOL, Socrates/Erasmus -hanketta ja osallistunut ohjausryhmien jäsenenä moniin kansainvälisiin tutkimus- ja kehittä-

mishankkeisiin. Hän on tuottanut paljon alansa opetusmateriaaleja, ohjannut väitöskirjoja Oulun yliopistossa ja on useiden kansainvälisten tiedelehtien toimituskuntien jäsen.

ORCID-ID: <https://orcid.org/0000-0001-8610-2355>

*Arja Kaasinen* (FT, kasvatustiede) on biologian didaktiikan yliopistonlehtori Helsingin yliopiston kasvatustieteellisessä tiedekunnassa. Hän on erityisesti ulkona tapahtuvan oppimisen ja opettamisen asiantuntija ja perustanut Suomen lasten metsäretkipäivä-tapahtuman. Hänen tutkimusintressinsä keskittyvät koulun ulkopuolisiin oppimisympäristöihin, kestävyys-, luonto- ja biodiversiteettikasvatukseen, digitaalisiin opetusvälineisiin ja lajintunnistukseen. Hän on johtanut ja ollut mukana useissa kansallisissa ja kansainvälisissä tutkimushankkeissa, kuten LumaLähetit, Science Center to Go, Fibonacci, Natural Europe, DigiKASVioPE ja Discovery Trail.

ORCID-ID: <https://orcid.org/0000-0002-6683-3051>

*Anttoni Kervinen* (KT, FM) on luokanopettaja, biologian ja maantieteen aineenopettaja ja monenlaisista oppimisen ja opettamisen ilmiöistä kiinnostunut tutkija. Kervisen tutkimuksen kohteita ovat muun muassa ulkona opiskelu, kansalaistiede osana luonnontieteiden opiskelua sekä teknologian hyödyntäminen opetuksessa. Hän on työskennellyt useissa kotimaisissa tai kansainvälisissä kehitys-, tutkimus- ja täydennyskoulutushankkeissa (esim. LumaLähetit, LUMA SUOMI, DigiKASVioPE), joiden tavoitteena on ollut kehittää laadukasta biologian opetusta luokkahuoneessa ja sen ulkopuolella.

ORCID-ID: <https://orcid.org/0000-0003-1689-6457>

*Merike Kesler* (KT, FM) on Helsingin yliopiston kemian didaktiikan lehtori. Hän on toiminut pitkään luonnontieteiden opetuksen ja kehittämisen parissa. Hän on koordinoanut tiedekasvatushankkeita, opettajien täydennyskoulutuskursseja, luovan ongelmanratkaisun kurseja opettajakoulutuksessa sekä koulutusmateriaalien, kuten oppikirjojen ja opettajanoppaiden tuottamista ja tiedeleirien, tiedekerhojen ja -kilpailujen järjestämistä. Hänellä on pitkä kokemus kansainvälisestä yhteistyöstä ja opettajien täydennyskoulutuksesta. Hänen tärkeimmät tutkimusintressinsä ovat opettajien ammatillinen kehittyminen, laaja-alainen osaaminen, luonnontieteiden menetelmien, luova ongelmanratkaisu projektioppiminen ja kokeellisuus. Hän on ollut mukana Luma-Lähetit ja LUMA SUOMI -hankkeissa ja kansainvälisissä ISEF sekä EUCYS-verkostoissa.

ORCID-ID: <https://orcid.org/0000-0002-6633-4906>



---

*Sirpa Kärkkäinen* (FT, kasvatustiede) työskentelee vanhempana yliopistonlehtorina Itä-Suomen yliopistossa. Hän on myös biologian didaktiikan dosentti Helsingin yliopiston kasvatustieteellisessä tiedekunnassa. Hänen tutkimusalueitaan ovat luonnontieteiden, ympäristökasvatuksen, kestävä kehityksen kasvatuksen sekä terveys- ja lääkekasvatuksen opetus ja oppiminen. Kärkkäinen on osallistunut useisiin kansallisiin ja kansainvälisiin tutkimushankkeisiin, esimerkiksi FINSCI (Fostering Finnish Science Capital) sekä MULTICO (Promoting Youth Scientific Career Awareness and its Attractiveness through Multi-stakeholder Cooperation).

ORCID-ID: <https://orcid.org/0000-0002-0515-0775>

*Antti Laherto* (FT, tiedekasvatuksen dosentti) työskentelee fysiikan didaktiikan vanhempana yliopistonlehtorina Helsingin yliopiston kasvatustieteellisessä tiedekunnassa. Hän on EU-rahoitteisissa projekteissa (I SEE, FEDORA, TEFF) tutkinut ja kehittänyt tulevaisuusorientoitunutta luonnontiedeopetusta ja opettajankoulutusta, joka tukee nuorten ja opettajaopiskelijoiden tulevaisuusajattelua ja toimijuutta. Hän opettaa sekä aineen- että luokanopettajaksi opiskelevia ja ohjaa väitöskirjoja ja maisterintutkielmia kestävyyskasvatuksen, luonnontiedekasvatuksen, koulun ulkopuolella oppimisen ja opettajankoulutuksen aihepiireistä.

ORCID-ID: <https://orcid.org/0000-0001-5062-7571>

*Ilona Södervik* (FT, kasvatustieteen dosentti – erityisalana elämäntieteiden pedagogiikka TY) työskentelee yliopistonlehtorina Helsingin yliopiston kasvatustieteellisessä tiedekunnassa. Hänen CELLS (Cultivating Expertise in Learning of Life Sciences) tutkimusryhmässään tehdään elämäntieteiden oppimiseen ja opetukseen sekä kestävyysosaamiseen liittyvää tutkimusta. Hänen keskeisiin opetustehtäviinsä kuuluu muun muassa yliopisto-opettajien pedagoginen koulutus ja kestävyysosaamisen vahvistaminen. Lisäksi hän ohjaa maisterintutkielmien tekijöitä sekä väitöskirjatutkijoita.

ORCID-ID: <https://orcid.org/0000-0001-8575-487X>

*Anna Uitto* (FT, hydrobiologian dosentti, HY, HELSUS) on biologian didaktiikan emerita professori Helsingin yliopiston kasvatustieteellisessä tiedekunnassa. Hänen tutkimus- ja opetusalueitaan ovat biologian didaktiikka, tiedekasvatus ja kestävyyskasvatus. Aiemmin hän on tutkinut ja opettanut ekologian tutkimuksen laboratorio- ja maastotutkimusmenetelmiä bio- ja ympäristötieteellisessä tiedekunnassa (HY). Kasvatustieteellisessä tiedekunnassa hän on johtanut biologian didaktiikan ja kestävyyskasvatuksen tutkimusryhmää ja vastannut biologian aineenopettajan ja luokanopettajan koulutuksista. Hänellä on ollut tutkimushankkeita Suomen Akatemiassa ja Helsingin yliopistossa sekä tutkimus- ja kehittämishankkeita yhteistyössä kotimaisten ja kansainvälisten tutkimuslaitosten sekä tiede-, kestävyys- ja ympäristökasvatuksen järjestöjen kanssa. Uitto ohjaa väitöskirjatutkijoita SEDUCE-tohtoriohjelmassa. ORCID-ID: <https://orcid.org/0000-0002-1568-7808>

*Eija Yli-Panula* (FT, kestävyyskasvatuksen ja aerobiologian dosentti, TY) on parhaillaan vierailevana professorina Murcian yliopistossa Espanjassa ja yliopistositoumuksella yliopistotutkijana Turun yliopiston opettajankoulutuslaitoksella. Hän on toiminut aineenopettajien ja luokanopettajien kouluttajana ja osallistunut opetusmateriaalien tuottamiseen. Tutkimus- ja opetusalueina hänellä ovat opettajankoulutus, biologian ja maantieteen didaktiikka sekä kestävyyskasvatus. Hän on ollut vierailevana tutkijana Sydneyn yliopistossa, Australiassa aiheenaan allergenit. Hän on osallistunut kotimaisiin ja kansainvälisiin tutkimusprojekteihin sekä opetuksen kehittämishankkeisiin, esimerkiksi OVET- opettajankoulutuslaitoksen valintahankkeeseen sekä Pohjoismaiden ja Baltian maiden Miljöpedagogik – projektiin. Hän myös ohjaa väitöskirjatutkijoita OPPI-tohtoriohjelmassa. ORCID-ID: <https://orcid.org/0000-0001-8774-6566>

