



**UNIVERSITY
OF TURKU**

This is a self-archived – parallel-published version of an original article. This version may differ from the original in pagination and typographic details. When using please cite the original.

AUTHORS	Anna Uitto, Eija Yli-Panula, Eila Jeronen
TITLE	Luonnontiedekasvatus ja kestävä kehityksen kasvatus biologian opetuksessa
YEAR	2024
VERSION	Publisher's PDF
CITATION	Uitto, A., Yli-Panula, E., Jeronen, E. (2024). Luonnontiedekasvatus ja kestävä kehityksen kasvatus biologian opetuksessa. Suomen ainedidaktinen tutkimusseura. Teoksessa Uitto, A., Jeronen, E., Yli-Panula, E., Suomen ainedidaktinen tutkimusseura, Uitto, A., Jeronen, E., & Yli-Panula, E. (toim.). Biologian opetus ja tiedekasvatus kestävä tulevaisuuden edistäjinä. Suomen ainedidaktinen tutkimusseura. https://doi.org/10.23988/sats.1066
LICENSE	CC BY NC SA

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 tieteenalan 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).

Visio 1	Visio 2	Visio 3
<i>Luonnontiedekasvatus</i>		<i>Kestävyyskasvatus</i>
Biologian käsitteellinen osaaminen: tiedot, taidot, arvot ja asenteet	Biologian kontekstuaalisen 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 yleisivistystä, 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 tarvitsemaa 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 merkityksellisyteen 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 molekyyliatasolta 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 molekyyliatasolta 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 biosfäärin 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 yleistävä 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, H₂O, 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 ydinteemojen 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).

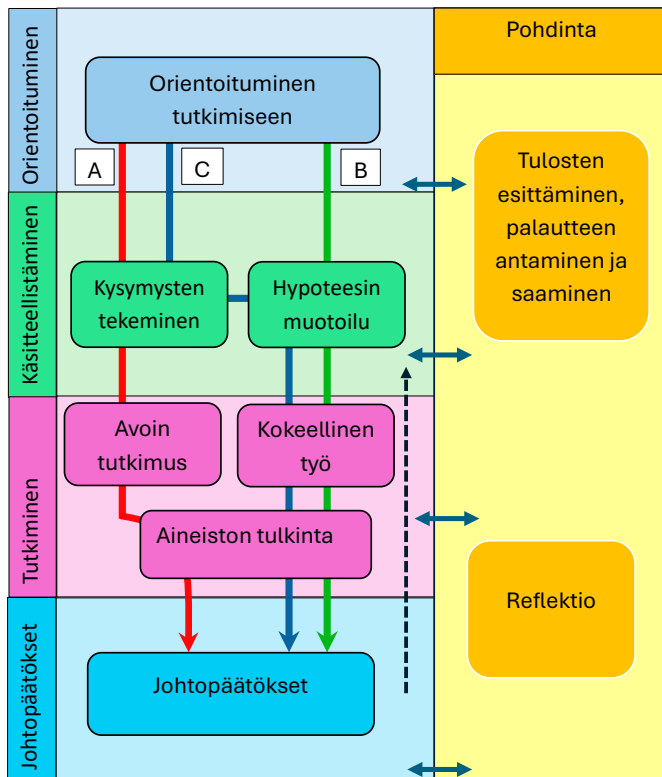
Tutkimuksellisen oppimisen polkuja

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). Robertsin (2011) mukaan visiossa 2 oppija on itse tiedon selittäjä ja tulkitsija; 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 kestäväen tulevaisuuden kannalta (OPH, 2014, s. 381). Eliöläjien 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 meta-kognitiiviset 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 & Yılmaz, 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, perusteleva ja pätevyden 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 kokonaiskäsitusten 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 kaikkialla 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 suojeleusuunnitelmana biodiversiteetin säilyttäminen soveltuu aiheeksi kestävyyskasvatukseen, koska se heijastaa ekologisten, 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 fysikaalisten 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
Esivalinta VI ja V2	<i>Päätöksentekotilanteen tunnistaminen</i>	Päätöksentekoon tarvittavien tietojen ja taitojen sekä niiden käyttömahdollisuuksien kerrittäminen	Päätöksenteossa hyödynnetään kerrytettyjä tietoja sekä niiden käyttömahdollisuuksia
Valinta VI ja V2	<i>Arviointi ja päätöksenteko</i>	Arviointi ja päätöksenteko	Arviointi ja päätöksenteko
	<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
Jälki-valinta V3	<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 ongelmaakohtiin 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-sivistysraditioon, 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 oppimiskokemuksiin 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 määritelty kyvyksi toimia aktiivisesti ympäristöongelmien ratkaisemiseksi (Jensen & Schnack, 1997). Mogensenin ja Schnackin (2010) mukaan toimintakompetenssi tarkoittaa Bildung-traditioon liittyvän sivistyskäsitteeseen 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 omaksumaankin 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 luonnon-tiedekasvatusta 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 syytti 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 kestävyysaasteiden 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).

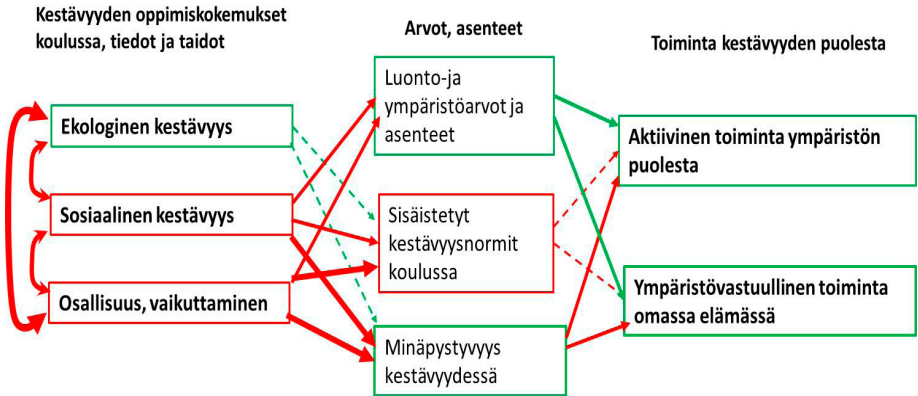
<i>Käsite</i>	<i>Kasvatustavoitteet</i>
Biodiversiteetti-kasvatusta, monimuotoisuusopetus, Biodiversity education	Luonnon monimuotoisuuden merkityksen ymmärtäminen ja vastuullinen suhtautuminen luontoon sekä toiminta biodiversiteetin säilymistä puolesta (Wolff, 2022a); luonnon monimuotoisuuden erilaisten 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 syvä ymmärtäminen vastuullisen maailmankansalaisuuden ja kestävästä kehityksen edistämiseksi (Laherto, 2020; Stein ym. 2022; Mastrantonio, 2023).

Kestävyysskompetenssin 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 *kestävyyssmurros* (transgression) eli *perinpohjainen 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, minäpystyyvyyteen 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 kestävyuden 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 kestävyuden 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 perustelemisessa. 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 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>
Järjestelmääjattelu: 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
Tulevaisuusajattelu: 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
Normatiivinen ajattelu: kyky ymmärtää ja tarkastella toiminnan taustalla olevia yhteisöllisiä ja yhteiskunnallisia normeja ja sääntöjä sekä neuvotella kestävän 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 kestävän tulevaisuuden rakentamisessa. LO: Välittää kuva kestävän elämäntavan välttämättömyydestä ja luonnonvarojen säästämisen merkityksestä
Strateginen toiminta: 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 kestävän 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>
<i>Yhteistyö ja yhteisöllinen toiminta:</i> 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 kouluyhteisössä 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
<i>Kriittinen ajattelu:</i> 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
<i>Isetuntemus:</i> 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
<i>Integroiva ongelmanratkaisu:</i> kyky soveltaa erilaisia ongelmanratkaisukehyksiä monimutkaisiin kestävän kehityksen ongelmiin ja kehittää niihin sovellettavissa oleva, osallistava ja oikeudenmukainen ratkaisu, edistää kestävä kehitystä integroimalla edellä mainittuja kompetensseja.	<i>Kehittää oppijoiden ongelmanratkaisutaitoja, rohkaista oppijoita vuorovaikutukseen ongelmanratkaisussa ja argumentaatiiossa:</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 opiskelumuotivaatiotaan 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 elämälaatuun 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).