

”Enemmän kuin aaltoliikettä”
**– musiikin ja matematiikan teoreettinen
integrointimalli kouluympäristöön**

Tutkielma (Maisteri)

14.9.2020

Peppiina Kaperi

Musiikkikasvatuksen aineryhmä

Sibelius-Akatemia

Taideyliopisto

Tutkielman nimi	Sivumäärä
”Enemmän kuin aaltoliikettä” – musiikin ja matematiikan teoreettinen integrointimalli kouluympäristöön	111 + 4
Tekijän nimi	Lukukausi
Peppiina Kaperi	Syksy 2020
Aineryhmän nimi	
Musiikkikasvatuksen aineryhmä	
<p>Tässä tutkielmassa tutkin, miten musiikkia ja matematiikkaa integroimalla voidaan kehittää oppijan yleisiä ongelmanratkaisutaitoja kouluympäristössä luoden musiikin ja matematiikan teoreettisen integrointimallin kouluympäristöön.</p> <p>Tutkimuskysymykseni rajautui seuraavasti:</p> <p style="padding-left: 40px;">Miten musiikkia ja matematiikkaa integroimalla voidaan kehittää oppijan ongelmanratkaisutaitoja kouluympäristössä?</p> <p>Musiikilla ja matematiikalla on monia, jo vuosisatojen ajan tutkittuja, yhtäläisyyksiä, joita erittelen tutkielmani teoreettisessa viitekehyksessä. Käsitelen yhtäläisyyksiä sekä aivotutkimuksen että kummankin aineen jakamien yhteisten ilmiöiden (vrt. esim. musiikinteoria, äänen fysiikka) kannalta. Lisäksi käsitelen viitekehyksessä valitsemani näkökulman kannalta tärkeitä käsitteitä – motivaatiota oppimisprosessissa sekä ongelmanratkaisutaitoja.</p> <p>Tutkimukseni on teoreettinen kriittis-analyttinen tutkimus. Tutkimusaiheestani aiemmin julkaistu tutkimus käsittelee musiikkia pitkälti eräänlaisena välinearvona esimerkiksi paremman älykkyysosamäärän tai matemaattisen osaamisen saavuttamiseksi, joten halusin tutkielmassani nostaa musiikin ja matematiikan rinnakkain – yhdenvertaisiksi oppiaineiksi, joita tutkia holistisesta näkökulmasta. Nähdäkseni tämä holistinen näkökulma voisi edelleen toimia yleishyödyllisenä työvälineenä oppijan oppimisprosessissa ja ongelmanratkaisutaitojen kehittämisessä.</p> <p>Tutkimukseni valossa musiikin ja matematiikan integroimisessa tulee ottaa huomioon (1) ilmiöpohjainen ainesisältöjen kahdensuuntainen oppiminen, (2) oppijan emootiot ja motivaatio sekä (3) interaktiivinen oppimisympäristö – parhaimmillaan mallin toteutuminen luo puitteet oppijan ongelmanratkaisutaitojen kehittymiselle. Ongelmanratkaisutaitojen nähdään puolestaan olevan avaintekijä siinä, miten ihminen kehittyy ja kasvaa osaksi yhteiskuntaa – yhtäältä kestävästä kehitystä eteenpäin vieden ja toisaalta toisten ihmisten rinnalla toimien kykenemällä luovaan ja kriittiseen ajatteluun sekä työelämässä menestymiseen.</p>	
Hakusanat	
Musiikki, matematiikka, ilmiöpohjainen opetus, ongelmanratkaisutaidot, motivaatio, aivotutkimus	
Tutkielma syötetty plagiointitarkastusjärjestelmään	
14.9.2020	

Sisällys

Sisällys	3
1 Johdanto	5
1.1 Kriittinen katsaus aiempaan tutkimukseen	7
1.2 Uusimmat perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelman perusteet – ainerajat ylittävän opetuksen ajankohtaisuus	10
1.3 Tutkimusasetelma	12
1.3.1 Tutkimustehtävä ja tutkimuskysymykset	12
1.3.2 Teoreettinen tutkimus ja tutkimuksen rakenne	13
2 Musiikin ja matematiikan yhtäläisyydet	16
2.1 Musiikki ja matematiikka aivotutkimuksessa	19
2.1.1 Neurofysiologinen aivotutkimus ja musiikki	21
2.1.2 Musiikki, emootiot ja aivot	26
2.2 Ääni, musiikinteoria ja matematiikka	31
2.2.1 Ääniaallot	33
2.2.2 Harmoninen osäääneistö	38
2.2.3 Viritysjärjestelmät	39
2.2.4 Akustiikka	41
2.3 Musiikkiteknologia ja matematiikka	43
2.3.1 Äänisynteesi	45
2.3.2 Sähkö(magnetismi) ja musiikkiteknologia	47
2.3.3 Sovelluksia kouluympäristössä	50
3 Motivaatio oppimisessa	53
3.1 Motivaatiojatkumo – sisäinen ja ulkoinen motivaatio	54

3.1 Motivaatio kouluympäristössä	55
4 Ongelmanratkaisutaidot	60
4.1 Ongelmanratkaisutaidot matematiikassa	63
4.2 Ongelmanratkaisutaidot musiikissa	66
4.3 Ongelmanratkaisutaitojen kehittymisen hyödyt.....	69
5 Musiikin ja matematiikan integroiminen kouluympäristössä	71
5.1 Miten musiikkia ja matematiikkaa integroimalla voidaan kehittää oppijan ongelmanratkaisutaitoja kouluympäristössä?.....	71
5.2 Musiikin ja matematiikan teoreettinen integrointimalli	79
5.2.1 Ilmiöpohjainen ainesisältöjen kahdensuuntainen oppiminen	80
5.2.2 Emootiot ja motivaatio	83
5.2.3 Interaktiivinen oppimisympäristö.....	85
5.2.4 Yleisten ongelmanratkaisutaitojen kehittyminen mallin toteuttamisen yhteydessä	87
6 Johtopäätökset ja pohdinta.....	95
6.1 Luotettavuustarkastelu	101
6.2 Tulevia tutkimusaiheita	102
6.3 Lopuksi.....	104
Lähteet.....	105
Liite 1, Aivoalueet, jotka musiikki aktivoi	112
Liite 2, Musiikin ja matematiikan aktivoimat aivoalueet	114
Liite 3, Kompleksiset aaltomuodot.....	115

1 Johdanto

Vain hyvin harvat asiat maailmassa vaikuttivat niin säännöllisiltä, niin luotettavasti toistuvilta, että niiden saattoi ajatella olevan hallittavissa yksinkertaisten sääntöjen kautta: matematiikka, musiikki ja taivaalla kiertävät planeetat sekä Aurinko ja Kuu. Eipä kumma, että kaikkien kolmen välille esitettiin yhtäläisyyksiä: lyyrän kielien kokonaislukuiset pituudet, planeettojen sfäärien taivaallinen harmonia, meidän vajavaisille korvillemme kuulumaton musiikki. (Valtaoja, 2012, 31.)

Musiikin ja matematiikan yhtäläisyyksiä on tutkittu jo vuosisatojen ajan (Harkleroad, 2006; White & White, 2014). Esimerkiksi numerot, kaavat, mittasuhteet, toistuvuus, jaksollisuus, lukusuhteet ovat käsitteitä, jotka on voitu yhdistää kumpaankin – sekä musiikkiin että matematiikkaan (ABC Music & Me, 2). Filosofi-matemaatikko Pythagoras löysi yhteyksiä jo yli 2500 vuotta sitten (Harkleroad, 2006, 3) ja kehitti intervallit, tähtitieteilijä Johannes Kepler tutki sfäärien sinfoniaa ja fyysikko Albert Einstein kertoi näkevänsä maailman musiikin termein. Nykyään, kun ainerajat ylittävä opetus on vallannut tilaa uusista opetus suunnitelmista Suomessa, esimerkiksi matematiikka ja musiikki voisi nähdäkseni toimia potentiaalisena ja perusteltuna oppiaineparina.

Oma kiinnostukseni näiden yhtäläisyyksien tutkimiseen perustuu pitkälti siihen, että olen aina ollut todella kiinnostunut sekä musiikista että matematiikasta. Ennen musiikin ja musiikkikasvatuksen ammattiopintojani harrastin musiikkia pitkään ja laaja-alaisesti – kävin lapsena musiikkileikkikoulut, aloitin 7-vuotiaana klassisen viulun soittamisen Pirkanmaan musiikkiopistossa ja sittemmin vaihdoin pääinstrumentikseni pop/jazz-laulun. Lauloin kymmenen vuotta nuoruudestani myös kuorossa. Kiinnostukseni matemaattisiin aineisiin syttyi niin ikään heti ala-asteella, mutta vasta lukion fysiikan tunteilla rakastuin maailmankaikkeuteen ja sen kieleen. Olen sittemmin opiskellut myös fysiikkaa Helsingin yliopistossa.

Olin jo varhaisessa vaiheessa kuullut monessa yhteydessä, kuinka matematiikalla ja musiikilla on yhtäläisyyksiä, mutta kukaan ei vuosiin osannut selittää niitä sen tarkemmin tai perusteellisemmin. Olen kuitenkin itsekin kokenut monen muun tapaan useaan otteeseen, että matemaattinen ajattelu ja avaruudellinen hahmottaminen ovat tärkeitä työkaluja musiikin tekemisessä ja ymmärtämisessä. Musiikin opiskeleminen on puolestaan kehittänyt kykyäni löytää annetusta kontekstista esimerkiksi toistuvia kaavoja tai

jaksoja – tämä on puolestaan erittäin hyödyllinen taito matemaattisten tehtävien ratkaisemisessa. Tutkielmassani käytän käsitettä matematiikka yleisnimityksenä matematiikalle ilmiönä sekä kaikille matemaattisille (oppi)aineille, sillä niissä kaikissa juuri matemaattinen ajattelu, avaruudellinen hahmottaminen sekä ongelmanratkaisutaidot ovat etenkin tutkimukseni kannalta keskiössä, kontekstin ja tehtävätyyppien vaihdellessa. Saatan siis välillä puhua matematiikasta myös esimerkiksi fysiikan kontekstissa tässä tutkimuksessa.

Käytän tutkimuksessani termiä oppija (enkä esimerkiksi oppilas tai opiskelija), sillä valitsin käsitellä ilmiöitä tässä tutkielmassa mahdollisimman yleismaailmallisesti, laaja-alaisesti ja toistaiseksi vielä näkökulmasta, jossa aineiden (tai niiden sisältämien ilmiöiden) kahdensuuntainen integroiminen on mahdollista ja sen (integroinnin) mahdolliset hyödyt havaittavissa kaikilla luokka- ja kouluasteilla, miksei alle kouluikäisten ja aikuistenkin piirissä. Pyrin koko tutkielmani ajan kuitenkin tiedostamaan, että integroinnin ei tule olla itseisarvo – oppiminen, erityisesti positiivisia tunteita herättävä sellainen, on itseisarvo.

Motivaatiota omalle tutkimukselleni olen saanut omista ja toisten ihmisten erilaisista kokemuksista suhteessa musiikin ja matematiikan yhteyksiin sekä myös ihmisistä, jotka eivät ole tunnistanee näitä yhteyksiä. Oma kokemukseni on vain vahvistunut entisestään, kun olen jo vuosien ajan keräillyt toisten kokemuksia ja kommentteja aiheesta. Keväällä 2017 kirjoitin kandidaatintutkielmani aiheesta ”*Näen maailmani musiikin termin*” - *musiikin ja matematiikan integroiminen lapsen ongelmanratkaisutaitojen kehityksessä kouluympäristössä* (Kaperi, 2017), ja se innosti minut tutkimaan aihetta aiempaa syvemmin, laajemmin ja lopulta inspiroi tavoitteen luoda teoreettinen malli siitä, kuinka kyseisiä oppiaineita voisi integroida kouluympäristössä mahdollisimman hyödyllisellä ja oppijaa motivoivalla tavalla. Olen lisäksi koittanut parhaani mukaan etsiä maisterintutkielmani teoriaosuuteenkin aiempaa uudempia lähteitä ja laajentaa sekä jäsenellä omaa ajattelua entisestään.

Tiede ja taide esitetään usein toisilleen vastakkaisina tai jopa vihamielisinä, mutta oman molemmille alueille ulottuvan kokemukseni mukaan niin ei suinkaan ole. - - Useimmat ymmärtävät, että tiede ja taide ovat vain saman asian kaksi puolta. Homo ludens leikittelee maailmankaikkeuden kanssa, ja maailmankaikkeus leikittelee hänen kanssaan. (Valtaoja, 2012, 192.)

Kandidaatintutkielmaa kirjoittaessani havaitsin, että aihetta on tutkittu aiemmin melko suppeasta näkökulmasta: musiikki on nähty lähes poikkeuksetta välinearvona matemaattisen osaamisen parantamiselle esimerkiksi Mozart-efektin (ks. luku 1.1) muodossa (vrt. esim. ABC Music & Me; Jensen, 2000; Raucher, Shaw & Ky, 1993). Haluan maisterintutkielmassani tehdä mallin luomisen ohella kriittisen katsauksen aiempaan tutkimukseen ja nostaa musiikin matematiikan rinnalle keskiöön, sillä koen, että musiikin ja matematiikan integroiminen voisi vaikuttaa positiivisesti ei ainoastaan toistensa oppimiseen, vaan ennen kaikkea yleisten ongelmanratkaisutaitojen kehittymiseen. Ne tukevat (ennakko)näkemykseni mukaan toisiaan parhaiten rinnakkain itseisarvoina, eivät toinen toisensa välinearvona. Musiikin ja matematiikan hahmottaminen samojen ilmiöiden kahtena eri tarkastelutapana tai ilmenemismuotona voisi nähdäkseni mahdollistaa kyseisten ilmiöiden monipuolisemman, syvällisemmän, laajemman ja nopeamman ymmärtämisen.

Tutkimusaiheeni on musiikkikasvatuksen alalla hyvin ajankohtainen ja toivottavasti myös hyödyllinen, sillä uusimmat opetussuunnitelmat (vrt. POPS, 2014; LOPS, 2019) ovat nostaneet oppiainerajoja rikkovan (integroidun) opetuksen keskiöön (vrt. luku 1.2). Mielestäni on tärkeää, että integrointi tapahtuu tulevaisuudessa mahdollisimman ideaalilla ja aineiden ominaisuuksia hyödyntävällä tavalla, jolla pyritään mahdollistamaan paitsi oppilaiden parempi oppiminen myös yleisten ongelmanratkaisutaitojen kehittymisen, motivaation kohoaminen sekä positiiviset oppimiskokemukset sosiaalisessa oppimisympäristössä.

1.1 Kriittinen katsaus aiempaan tutkimukseen

Vaikka musiikin ja matematiikan vaikutuksia toisiinsa on tutkittu jo vuosisatojen ajan, on tutkimus ollut pitkälti varsin yksipuolista – suurimmaksi osaksi aiempi tutkimus on nähnyt musiikin välinearvona matemaattisen osaamisen kasvattamiselle (ABC Music & Me; Kaperi, 2017). Mietin tutkimukseni aikana, mistä syistä aihe on usein kohdistettu matematiikan taitojen parantamiseen tähtääväksi tutkimukseksi. Aivan ensimmäiset kirjatut havainnot matematiikan ja musiikin yhteyksistä ovat antiikinaikaisen matemaatikko Pythagoraan. Hän tutki aihetta nimenomaan nostaen musiikin kaiken maallisen (vrt. esim. matematiikka) yläpuolelle ja tarkasteli matematiikkaa ja musiikkia luonnon harmonioiden erilaisina ilmentyminä. (White & White, 2014.) Lähtökohta olisi siis voinut olla myöhemmin laajemmalle (matemaattista osaamista korostavalle) tutkimukselle

jopa päinvastainen tai ainakin tasavertaisempi. Jo kandidaatintutkielmassani (Kaperi, 2017) tein aiempaan tutkimukseen laajemman kriittisen katsauksen, jonka pyrin tiivistämään tässä luvussa avatakseni aiemman tutkimuksen lähtökohtaisesti suppeaa näkökulmaa.

Arvostettu Nature-lehti julkaisi vuonna 1993 huomiota herättävän tutkimuksen: Rauscherin, Shaw'n ja Ky'n julkaisusta *Music and Spatial Task Performance* nousi esille ensimmäistä kertaa käsite **Mozart-efekti** (Jensen, 2000, 37). Tutkimuksessa, joka suoritettiin Kalifornian yliopistossa, osallistujat jaettiin kolmeen ryhmään, joista yksi ryhmä kuunteli rentoutumisnauhaa, toinen luonnonkohinaa (*white noise*) ja kolmas Mozartin sonaattia kahdelle pianolle (D-duuri, K. 448) kymmenen minuutin ajan (Nantais & Schellenberg, 1999; Rauscher, Shaw & Ky, 1993). Kuuntelemisen jälkeen kaikki ryhmät vastasivat kysymyksiin, jotka mittasivat avaruudellista hahmottamista (Jensen, 2000, 37; Rauscher, Shaw & Ky, 1993). Tutkimuksessa huomattiin, että Mozartia kuunnellut ryhmä pärjäsikin testissä paremmin kuin kaksi muuta ryhmää (Nantais & Schellenberg, 1999; Rauscher, Shaw & Ky, 1993) – kerrottiin, että kyseisen ryhmän koehenkilöiden älykkyydosamäärä oli kohonnut keskimäärin hetkellisesti 8–9 pistettä (McKelvie & Low, 2002; Rauscher, Shaw & Ky, 1993).

Tutkimuksen tulosten julkaisemisen jälkeen Mozart-efekti sai osakseen suuren mediahuomion: lasten älykkyyden parantamiseksi pidettiin konferensseja, julkaistiin nettisivuja, perustettiin instituutioita ja koottiin Mozartin musiikista koostuvia levyjä (McKelvie & Low, 2002). Suosion takia useat muut tutkimusryhmät kokivat tärkeäksi toistaa testiä ja täten todistaa saatujen tulosten luotettavuus (ABC Music & Me; McKelvie & Low, 2002; Nantais & Schellenberg, 1999).

Kun tutkimusta toistettiin, Mozart-efekti alkoi saada osakseen paljon myös kritiikkiä, sillä samankaltaisia suoraan älykkyydosamäärää parantavia tuloksia ei aina uusissa tutkimuksissa saatu (Jensen, 2000, 37; McKelvin & Low, 2002). Myös hyödyttävän vaikutuksen hetkellisyys ja lyhyt kesto hämmästytti (Jensen, 2000, 38) – Mozartin kuuntelun jälkeiset positiiviset vaikutukset matemaattiseen osaamiseen (avaruudelliseen hahmotuskykyyn) kestivät korkeintaan 15 minuuttia (ABC Music & Me). Saamastaan kritiikistä huolimatta alkuperäiset tutkijat (Rauscher, Shaw & Ky) ovat jälkeinpäin toistaneet tutkimustaan ja seisovat edelleen Mozart-efektin ja sen vaikutusten takana (Jensen, 2000, 38).

Kirjassaan *Music With The Brain In Mind* Jensen (2000, 34) tiivistää alkuperäisessäkin (Raucher, Shaw & Ky, 1993) tutkimuksessa mukana olleen Shaw'n johtaman toisen tutkimuksen musiikin positiivisista vaikutuksista matemaattiseen osaamiseen. Tutkimusryhmä oletti, että jos musiikki todella vaikuttaisi positiivisesti kykyymme ymmärtää mittasuhteita, kokelaan altistuessa musiikille myös tutkimukseen kuuluvan matemaattisen kokeen pisteiden tulisi nousta. Kyseiseen tutkimukseen osallistui niin ikään kolme ryhmää:

- 1) 29 oppilasta pelasi avaruudellista hahmotuskykyä vaativaa matemaattista videopeliä ja sai piano-opetusta
- 2) 29 oppilasta pelasi avaruudellista hahmotuskykyä vaativaa matemaattista videopeliä ja sai tietokonepohjaista englannin opetusta
- 3) 28 oppilasta (kontrolliryhmä) ei saanut normaalista poikkeavaa opetusta (Jensen, 2000, 34.)

Jensen (2000, 34) kertoo tutkimuksen tulosten olleen vaikuttavia: Kummassakin testiryhmässä, jotka pelasivat matemaattista videopeliä, kokeen pisteet nousivat 36 prosentilla. Piano-opetusta saanut ryhmä sai 15 prosenttia paremmat pisteet kuin englanninopetusta saanut ryhmä. Shaw uskoi tuloksen kertovan siitä, että pianonsoitto edistää sekä avaruudellista hahmotuskykyä että ennakointikykyä, jotka ovat kumpikin erittäin tärkeitä taitoja matemaattisten ongelmien ratkaisemisessa. (Jensen, 2000, 34.)

Näen, että varsinaisen lähtölaukauksen näkökulman kääntymiselle (verrattuna esim. Pythagoraan tarjoamaan näkökulmaan) musiikin ja matematiikan kontekstissa tarjosi yllä tiivistetty Raucherin ja kumppaneiden tutkimus, jonka pohjalta maailmalla opittiin tuntemaan Mozart-efekti -käsite. Käsite kavensi tutkimusta aiheen ympärillä, sillä se, ehkä tahattomasti, polki musiikin välinearvoksi älykkyysosamäärän parantamiselle ja tarjosi tutkimuskentälle ideoita jatkaa tutkimusta samasta näkökulmasta (vrt. Shaw'n tutkimus). Tavoitteiksi tutkimuksissa ei siis monestikaan muotoutunut kahden näkökulman – musiikin ja matematiikan – mielenkiintoisten yhtäläisyyksien etsiminen tai niistä heijastuvan yleismaailmallisen hyödyn hahmottaminen ja edelleen soveltaminen, vaan usein älykkyysosamäärään liittyvien testitulosten parantaminen.

Käsitys on kuitenkin vuosien kuluessa laajentunut sen kohtaaman terveen kritiikin kautta jo kokonaisvaltaisemmaksi: enää ei ainakaan suoraviivaisesti ajatella, että musiikin

tekeminen ja harrastaminen johtaa suoraan älykkyysosamäärän kasvamiseen ja siten esimerkiksi kiistatta parempaan menestymiseen matematiikan kokeessa. Musiikin on havaittu edesauttavan niiden aivoalueiden, joita käytetään yleiseen ongelmanratkaisuun, vahvistumista (vrt. tutkielmani luvut 2 ja 4). Havaitsin myös, että tuoreimmissa tutkimuksissa (vrt. esim. Rogers, 2016) pelkän älykkyuden ihannoiti ei ole enää koulu- maailmassa keskiössä. Tutkimusten ja tutkijoiden motivoijana toimii entistä useammin halu luoda monipuolisia opetusmetodeja – työvälineitä, joilla luoda ilmiöistä ja maailmasta jo lastakin innostava ja inspiroiva kokonaiskäsitys. Lapsi halutaan usein nähdä oppimisprosessissa aktiivisena osapuolena ja tiedonkäsittelijänä (vrt. esim. An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014; Geist, Geist & Kuznik, 2012; OPH, 2016).

Maisterintutkielmassani haluan mahdollisimman kriittisen otteen avulla lujittaa pikkuhiljaa herännyttä kahdensuuntaisempaa käsittelytapaa ja nostaa musiikin entistä vahvemmin matematiikan rinnalle ja tutkia vaikutuksia ja mahdollisia hyötyjä holistisella, kummatkin aineet tasavertaisesti ja kahdensuuntaisesti huomioivalla tavalla. Uskon, että vaikka musiikista saataisiinkin ainakin hetkellinen hyötyvaikutus matemaattiseen suorittamiseen käyttämällä musiikkia vain toissijaisena välineenä, mahdollinen oppiaineiden tasapuolisen integroimisen aikaansaama positiivinen vaikutus yleisiin ongelmanratkaisutaitoihin voisi olla tuloksena paljon toivotumpi, laaja-alaisempi ja pitkäkestoisempi.

1.2 Uusimmat perusopetuksen ja lukion opetussuunnitelman perusteet – ainerajat ylittävän opetuksen ajankohtaisuus

Vuonna 2016 otettiin käyttöön uudet valtakunnalliset perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet ja viimeistään vuonna 2021 siirrytään lukio-opetuksen uusiin opetussuunnitelmiin. Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteissa (2014) sekä lukio-opetuksen opetussuunnitelman perusteissa (2019) käsitellään erityisesti kahta sellaista pääkohtaa, jotka ovat oleellisia tutkimukseni ajankohtaisuuden kannalta – ilmiöpohjaisuus, integroivaa opetusta ja luovuuden kautta kohoavaa motivaatiota oppimista kohtaan. Motivaatiota erityisesti oppimisen kontekstissa käsitellen edelleen laajemmin teorialuevussa (luku 3). Teen alla hieman laajemman katsauksen lukion opetussuunnitelman perusteisiin kuin perusopetuksen opetussuunnitelman perusteisiin, sillä lukion oppiainesisällöt tarjoavat laajempia integrointimahdollisuuksia perusopetuksen vastaaviin (ainesisältöihin) verrattuna. Yleiset arvopohjat ja tavoitteet ilmiöpohjaisuuden, motivaation

sekä yhteistoiminnallisuuden ja ongelmanratkaisun suhteen ovat kummissakin perusteissa samat.

Uudet perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet (POPS, 2014) nimeää yhdeksi tärkeäksi tavoitteeksi ilmiöpohjaisen opetuksen. Ilmiöpohjaisen opetuksen yksi toteutusmuoto on ainerajoja rikkova opetus, integroiva opetus (POPS, 2014). Opetussuunnitelmassa huomautetaan myös, että oppilaan oppimisprosessia - etenkin motivaatiota - ohjaavat muun muassa oppilaan omat kiinnostuksen kohteet, arvostukset, työskentelytavat, kokemukset, tunteet sekä käsitykset itsestä oppijana (POPS, 2014, 17).

Lukion opetussuunnitelman perusteissa (LOPS, 2019) puolestaan kerrotaan lukio-opetuksen valmistavan ”opiskelijaa ymmärtämään elämässä ja maailmassa vallitsevia monitahoisia keskinäisriippuvuuksia sekä jäsentämään laaja-alaisia ilmiöitä” (LOPS, 2019, 16). Perusteissa korostetaan lisäksi, kuinka tämän tyyppiset merkityksellisinä koetut oppimiskokemukset innostavat ja sitouttavat ilmiöiden opiskeluun, mistä johtuen opiskelijalle tulee tarjota mahdollisuuksia työskentelyyn, joka liittyy yhteen opiskeltavat tiedot ja taidot sekä ilmiöt ja kokemukset, joita opiskelija kohtaa ympäristössään. Myös rohkaisu ongelmien havaitsemiseen ja ratkaisemiseen, kysymysten etsimiseen ja niihin vastaamiseen nousee perusteissa esille. (LOPS, 2019, 20.)

Opetusmenetelmien kohdalla todetaan, kuinka opiskelumenetelmät, jotka perustuvat tutkimiseen, kokeilemiseen ja ongelmanratkaisuun, kehittävät luovaa ja kriittistä ajattelua sekä edistävät oppimaan oppimista (LOPS, 2019, 20). Lukiossa tarjotuilla oppimiskokemuksilla pyritään kannustamaan opiskelijaa ”ennakkoluulottomuuteen, aloitteellisuuteen, yrittäjämäiseen toimintaan, yhteistyöhön, vastuullisuuteen sekä rakentamaan ongelmanratkaisuun” (LOPS, 2019, 25). Ilmiöpohjaisten kokonaisuuksien oppimisen yhteydessä opiskelijan nähdään saavan mahdollisuuksia oman osaamisen jakamiseen ja vertaisoppimiseen, oman mukavuusalueen haastamiseen sekä ratkaisujen yhdessä ideointiin ja tuottamiseen (LOPS, 2019, 61). Ongelmanratkaisu ja etenkin sen tapahtuminen vuorovaikutuksellisesti yhdessä nousevatkin siis tavoitelluiksi tekijöiksi lukioympäristössä.

Matematiikan aineen osalta lukio-opetuksen tulisi kehittää opiskelijan ”laskemisen, luovan ajattelun sekä ilmiöiden mallintamisen, ennustamisen ja ongelmien ratkaisemisen taitoja” (LOPS, 2019, 221). Vuorovaikutusosaamisen vahvistamiseen pyritään varioimalla työtapoja, joissa opiskelijat työskentelevät yksin ja yhdessä. Lähtökohdat opetukselle valitaan matematiikan avulla ratkaistavissa olevien opiskelijoita kiinnostavien ai-

heiden, ilmiöiden ja niihin liittyvien ongelmien piiristä (vrt. motivaatio). (LOPS, 2019, 221.)

Musiikin aineopetuksen osalta perusteissa todetaan luovan tuottamisen ja uusien musiikillisten ratkaisujen etsimisen kehittävän opiskelijan pitkäjänteisyyttä ja opitun soveltamista uusissa tilanteissa. Musiikin opiskelemisen lukiossa tulisi tukea oppimista ja yhteisöllisyyttä: Yhteismusisoinnin tiedetään vahvistavan vuorovaikutus- ja kommunikaatiotaitoja ja olevan siten ainutlaatuista ryhmätoimintaa. Tällainen rakentava yhteensovittaminen ja vuorovaikutus puolestaan avartavat opiskelijan näkemyksiä laaja-alaisesti niin musiikista, muista taideaineista kuin myös kulttuuriarvostuksista ja arvojärjestyksistä ja kehittävät samalla opiskelijan luovan ja kriittisen ajattelun taitoja. Monipuolisen musiikin opetuksen tulisi kehittää opiskelijan luovaa ja monitieteistä osaamista sekä korostaa mielikuvituksen ja kuvittelukyvyn tärkeyttä. Tämä auttaa opiskelijaa ajattelemaan uusilla tavoilla ja siten ratkomaan käytännön ongelmia. (LOPS, 2019, 339–340.)

Koenkin sekä perusopetuksen että lukiopetuksen valtakunnallisten opetussuunnitelmien sekä yleisten että ainekohtaisten perusteiden tukevan tutkimusaiheeni ajankohtaisuutta ja tarpeellisuutta nostaan samalla tärkeiksi tarkasteltaviksi tekijöiksi paitsi oppiaineiden integroinnin myös motivaation ja yhteistoiminnallisuuden merkityksen kouluympäristössä sekä oppimiskokemusten kautta kehittyvien ongelmanratkaisutaitojen merkityksellisuuden yhteiskunnassa.

1.3 Tutkimusasetelma

1.3.1 Tutkimustehtävä ja tutkimuskysymykset

Maisterintutkielmassani tutkin, miten musiikin ja matematiikan jo tunnettuja sekä mahdollisesti toistaiseksi tuntemattomia yhteyksiä hyödyntämällä ja kyseisiä oppiaineita integroimalla voitaisiin parantaa oppijoiden yleisiä ongelmanratkaisutaitoja kouluympäristössä. Lisäksi halusin luoda teoreettisen mallin siitä, miten musiikkia ja matematiikkaa voisi integroida perusopetuksessa ja lukiossa mahdollisimman holistisella ja oppijoita motivoivalla tavalla.

Tutkielmani tehtävinä on seuraavat:

1. Tehdä kriittinen katsaus aiempaan tutkimukseen.
2. Analysoida tutkimukseeni liittyviä käsitteitä ja siihen liittyvien teorioiden ajatuskokonaisuuksia mahdollisimman tarkoin ja laaja-alaisesti.
3. Luoda teoreettinen, oppijan ongelmanratkaisutaitoja kehittävä integrointimalli musiikin ja matematiikan integroimisesta kouluympäristössä.

Tutkimuskysymykseni rajautui seuraavasti:

Miten musiikkia ja matematiikkaa integroimalla voidaan kehittää oppijan ongelmanratkaisutaitoja kouluympäristössä?

Pyrin vastaamaan tutkimuskysymykseeni jo tehtyihin, kriittisesti katsattuihin tutkimuksiin pohjaten luvussa 5.1 ja teoreettisen integrointimallin avulla syvällisemmin luvussa 5.2 (kuva 11).

1.3.2 Teoreettinen tutkimus ja tutkimuksen rakenne

Tutkielmani on teoreettinen kriittis-analyyttinen tutkimus. Teoreettisessa tutkimuksessa ei tutkita suoraan tutkimuskohteita, vaan niistä pyritään luomaan käsitteellisiä malleja, selityksiä ja rakenteita aiemman tutkimuskirjallisuuden pohjalta (Jyväskylän yliopisto, JYUa). Tutkin aiheestani tehtyä aiempaa tutkimuskirjallisuutta kriittisesti eli pyrkien osoittamaan, mitä näkökulmaa ei ole vielä tarkasteltu tai mitä tulisi vielä ottaa huomioon (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara, 1998), sillä suuri osa tutkielmani aiheen aiemmasta tutkimuksesta on tehty mielestäni suhteellisen kapeasta näkökulmasta – asettaen musiikki välinearvoksi älykkyysosamäärän tai matemaattisen osaamisen kehittämiseksi, satunnaisesti päinvastoin.

Tutkimusmenetelmäni voidaan pitää systemaattisena analyysinä, jolla on kaksi päätehtävää:

1. Analyyttinen tehtävä, joka erittelee teorioiden ajatuskokonaisuuksia
2. Synteettinen tehtävä, joka tarkoittaa uuden käsitteen, ajatuksen tai ajatusrakennelman luomista. (Nurmi, 1992.)

Tutkielmani etenee tutkimukseni kannalta tärkeiden käsitteiden mahdollisimman tarkasta määrittelystä, erittelystä ja käsittelystä (vrt. analyyttinen tehtävä) syvenevään pohdin-

taan, joka pyrkii luomaan uuden ajatusrakennelman (vrt. synteettinen tehtävä). Koen teoreettisen viitekehyksen yksityiskohtaisuuden ja tarkan analysoinnin tärkeäksi, sillä pyrkimyksenäni on yhdistää kaksi ilmiötä (musiikki ja matematiikka) yhdeksi kokonaisuudeksi edeten siitä vielä laajempaan kokonaisuuteen (ideaalin integroimisen vaikutukset ongelmanratkaisutaitojen kehittymiseen). Lisäksi motivaatio käsitteenä nivoutuu tutkimukseeni keskeisenä osana, joten valitsin avata viitekehysessä myös sitä. Pyrin perustelemaan tulokseni, johtopäätökseni ja pohdintani mahdollisimman tarkasti ja johdonmukaisesti lähdeaineiston avulla.

Hakusanoinani lähteiden valikoinnin yhteydessä käytin muun muassa seuraavia:

- musiikki + matematiikka / music + mathematics
- musiikki + aivot / music + brain
- musiikki + motivaatio / music + motivation
- motivaatio + aivot / motivation + brain
- musiikki + tunteet / music + emotions
- musiikinteoria + matematiikka / music theory + mathematics
- musiikkiteknologian sovellukset / music technology and applications
- musiikki + matematiikka + integraatio / music + mathematics + integration
- ongelmanratkaisu & ongelmanratkaisutaidot / problem-solving & problem-solving skills
- ongelmanratkaisutaidot matematiikassa / problem-solving skills + mathematics
- ongelmanratkaisutaidot musiikissa / problem-solving skills + music

Lähdeaineistostani merkittävä osa on englanninkielistä tutkimuskirjallisuutta, sillä suora tutkimusta musiikin ja matematiikan yhtäläisyyksistä tai integroinnista on tehty melko vähän suomeksi. Huomasin ulkomaisen tutkimuksen olevan myös toistaiseksi kotimaista tutkimusta monipuolisempaa. Aivotutkimuksessa käytin kotimaista tutkimusta (vrt. esim. Huotilainen & Putkinen, 2008; Linnavalli, 2019; Saarikallio & Erikkilä, 2007; Tervaniemi, 2017; Virtala, 2015; Virtala & Tervaniemi, 2017; Vuokoski & Eero-

la, 2012) ja etsin sitä tukemaan myös ulkomaista tutkimusta (vrt. esim. Blood & Zatorre, 2001; Juslin & Sakka, 2019; Koelsch, 2010, 2011 & 2019; Zatorre, 2005). Aineistöni kuuluu muun muassa tietokirjoja, tieteellisiä vertaisarvioituja artikkeleita ja muita tutkimusjulkaisuja. Luvun 5.1 kirjallisuuskatsaus jo tehtyihin musiikin ja matematiikan integrointikokeiluihin on valikoitu mahdollisimman monipuolisia integrointinäkökulmia esille tuoden (vrt. An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014; Still & Bobis, 2008; Walkington, 2013).

Kuten kandidaatintutkielmassanikin, käytin maisterintutkielmassani lähteenä tuoreimpia peruskoulun (POPS, 2014) ja lukion opetussuunnitelman perusteita (LOPS, 2019), jotka perustelevat tutkimusaiheeni ajankohtaisuuden ja tarpeellisuuden. Omaan teoreettiseen malliini hain vaikutteita, ideoita ja inspiraatiota erilaisista ja eri alojen teoreettisista maisterintutkielmista ja väitöskirjoista (vrt. Kankkunen, 2018; Laes, 2006).

Positivismissa tarkoitetaan tieteenfilosofista suuntausta, jonka piirissä tarkat kyseiselle suuntaukselle tyypilliset tieteellisinä pidetyt menetelmät korostuvat tiedon tuottamisessa (Jyväskylän yliopisto, JYUa). Koska tutkimukseni on luonteeltaan teoreettinen, tutkimukseni luotettavuutta (vrt. 6.1) voidaan tarkastella arvioimalla tutkimuksen lopputuloksen (integrointimallin) johdonmukaisuutta ja loogisuutta suhteessa esittelemiini käsitteisiin ja aiemman tutkimuksen (lähdeaineistoni) tuloksiin. Tutkimukseni kuuluu näin ollen interpretivistisen (ja siten postpositivistisen) tieteen, joka tunnustaa tiedon olevan muuttuvaa ja aina ihmisen subjektiivista arvelua tai oletuksia todellisuudesta, piiriin. Tiedon katsotaan olevan aina riippuvaista tietäjästä. Tästä huolimatta ihmisellä on huolellisen jäsentelyn ja tarkastelun perusteella oikeus tehdä todellisuudesta tulkintoja. (Jyväskylän yliopisto, JYUa.)

Mallini empiirinen tutkiminen on mahdollinen jatkotutkimusaihe.

2 Musiikin ja matematiikan yhtäläisyydet

Tässä luvussa pureudun musiikin ja matematiikan jo havaittuihin yleisiin yhtäläisyyksiin, joiden monipuolinen hahmottaminen on olennainen ja välttämätön osa mahdollisimman vuorovaikutteisen ja kahdensuuntaisen hyötysuhteen rakentamisessa niiden välille. Taustoitan myös aiheesta tehtyä aivotutkimusta (sekä neurofysiologisen että emootioita tutkivan aivotutkimuksen näkökulmasta) ja avaan yhtäläisyyksiä tarkemmin muun muassa musiikinteorian ja musiikkiteknologian näkökulmista. Avaan käsitteitä ja ilmiöitä yksityiskohtaisesti, sillä pyrin samalla mallintamaan, minkälaisia mahdollisuuksia ainesisältöjen (musiikki ja matemaattiset aineet) yhdistelemisessä voisi olla.

Musiikki ja matematiikka ovat kumpikin omien kaavojensa (*pattern*) ilmaisemiseen symboleja käyttäviä universaaleja ilmiöitä, jotka pyrkivät yhdistämään intellektuaalia esteettiseen (sekä ainakin musiikin kontekstissa emotionaaliseen) ja toisinpäin (Harkleroad, 2006, 1; Virtala & Tervaniemi, 2017, 387). Yhteisten kaavojen ja ilmiöiden näkökulman lisäksi musiikin ja matematiikan yhteisiä tarttumapintoja on käsitelty viime vuosina myös aivotutkimuksen näkökulmasta (Jensen, 2000; Geist, Geist & Kuznik).

Kirjassa *Music With The Brain in Mind* (Jensen, 2000) pohditaan musiikissa ilmeneviä rytmisiä ja kaavamaisia muotoja, jotka tekevät musiikista helpommin muistettavaa. Daniel J. Levitin (2006) puolestaan kertoo tutkimusten osoittaneen, että sekä lapset että aikuiset omaksuvat ja muistavat paremmin sellaisia melodioita, jotka perustuvat kaavamaiseen ja jäsenneltyyn asteikkoon¹ kuin melodioita, jonka sävelet eivät muodosta asteikkoa (Levitin, 2006, 37). Musiikki on siis monesti rytmillisesti ja melodiallisesti jaksotettua ja saattaa siten joissakin tapauksissa muotoutua mielissämme ”tunnusmusiikiksi” tai ”taustamusikiksi” jollekin, jonka näemme tai kuvittelemme (Jensen, 2000, 36).

Tämänkaltaiset kaavat, joita esiintyy sekä musiikissa että matematiikassa, on jaoteltu kolmeen alalajiin: toistuvat (*repeating*), kasvavat (*growing*) sekä suhteelliset (*relationship*) kaavat (Geist, Geist & Kuznik, 2012, 76). Kyseisten kaavojen tunnistamisen

¹ Teoksessa *This Is Your Brain on Music: The Science of a Human Obsession* (Levitin, 2006, 37) avataan musiikista tuttua duuriasteikkoa. Se koostuu viidestä kokosävelaskelesta ja kahdesta puolisävelaskelesta. Puolisävelaskelten sijainti asteikossa on ratkaiseva – se ei ainoastaan määrittele tonaliteettia (duuri), vaan luo samalla aivoille helposti hahmotettavissa olevia olettamuksia ja rakenteita.

merkitys korostuu jo varhain lapsen kehityksessä: Lapsen ensimmäinen kosketus tasaiseen rytmiin tulee usein tuutulauluista, joita vanhempi laulaa tyyntyttääkseen lapsen. Laulut pitävät sisällään monia – jopa monimutkaisia – toistuvia kaavoja (vrt. laulun rakenne, rytmiikka, melodia, lyriikat), joita jo vauvankin aivot osaavat käsitellä. (Geist, Geist & Kuznik, 2012, 75). Vaikka tuutulaulujen ja niissä esiintyvien kaavojen ei olekaan tarkoitus opettaa vauvalle matematiikkaa, tuutulaulut luovat pohjan luontaiselle kyvyille alkaa hahmottaa matemaattisia ilmiöitä ympärillä (Clements, Sarama, Spitter, Lange & Wolfe, 2011, Geistin, Geistin & Kuznikin, 2012, 75, mukaan).

Kirjassaan *Mathematics And Music* (2009) David Wright nimeää yhdeksi merkittävimmistä yhteisistä tekijöistä musiikin ja matematiikan horisontaalisuuden. Matematiikan kontekstissa aikaa (t) kuvataan usein horisontaalisella akselilla (vrt. x- tai t-akseli). Koska myös musiikkia hahmotetaan aikaintervallien kautta, sitä kuvataan visuaalisesti horisontaalisella akselilla (vrt. nuottiviivasto): viivastolla eteneminen vasemmalta oikealle horisontaalisesti kuvaa ajan kulumista, kun taas vertikaalisesti kuvataan sävelkorkeutta. Kyseinen järjestys musiikillisen rakenteen suhteen pitää sisällään monia perusmatemaattisia konsepteja. (Wright, 2009, 17.) Lisäksi musiikkia ja matematiikkaa yhdistävät esimerkiksi käsitteet rytmi, toistuvat kuviot, symmetria ja muoto (Wright, 2009).

Musiikki vahvistaa kykyä ajatella luovasti sekä muokata ja jäsenellä monimutkaisiakin aihioita (Jensen, 2000, 36) – ominaisuuksia, joita tarvitaan myös matemaattisten aikavaruudellisten tehtävien ratkaisemisessa ja edelleen yleisessä ongelmanratkaisussa, kuten Jensen kirjassaan (2000, 36) taulukoi (kuva 1):

Musiikki	Matematiikka
intervallisuhteiden hahmottaminen	etäisyyksien avaruudellinen hahmottaminen
¼- ja puolinuotit rytmikassa	murtolukujen ymmärtäminen
ennakointi soittamisessa	ajoittamisen kyvyn paraneminen
jaksottaminen kuuntelussa	ongelmanratkaisukyvyn paraneminen

Kuva 1. Musiikin osa-alueiden suhde musiikkiin. (Kaperi, 2017, mukailtu, Jensen, 2000, 36)

Vertailun ja olettamani aineiden kahdensuuntaisuuden vuoksi esittelen lisäksi ABC Music & Me -tutkimusraportissa sivutun National Council of Teachers of Mathematics'in (NCTM, 2008) laatiman matematiikkalähtöisemmän taulukon musiikin ja matematiikan samankaltaisuuksista:

Matemaattinen osa-alue	Suhde musiikkiin
Geometria: Muotojen tunnistaminen, avaruudellisten suhteiden kuvaaminen	Notaatio (nuotit ovat ”korkeammalla” tai ”matalammalla” nuottiviivastolla) Äänikaavojen (<i>pattern</i>) jäsentely
Mittaaminen: Mitattavien ulottuvuuksien tunnistaminen ja objektien vertailu näiden ulottuvuuksien avulla	Tonaliteetti (”korkeampi”, ”matalampi”) Tempo (”nopea”, ”hidas”)
Numerot ja operaattorit: Kokonaislukujen ja lukusuhteiden ymmärtäminen (sisältäen vastaavuuden, laskemisen, kardinaalisuuden sekä vertailun konseptit)	Iskujen laskeminen (”kuinka monta isku” rytmisessä kaavassa) Iskujen vertaileminen (”enemmän”, ”vähemmän”)

Kuva 2. Matemaattisten osa-alueiden suhde musiikkiin. (Kaperi, 2017, mukailtu, ABC Music & Me, 4.)

Kummassakin taulukossa nähdään matematiikan osa-alueet ja niihin rinnastetut käsitteet ja termit musiikin kentältä. Jensenin taulukoinnin (kuva 1) lähtökohta on musiikillisissa elementeissä (vrt. kuvassa intervallisuhteiden hahmottaminen, $\frac{1}{4}$ - ja puolinuotit rytmikassa, ennakointi soittamisessa, jaksottaminen kuuntelussa), joille hän on hahmotellut matematiikan alalta vastineet (vrt. etäisyyksien avaruudellinen hahmottaminen, murto-lukujen ymmärtäminen, ajoittamisen kyvyn paraneminen, ongelmanratkaisukyvyn paraneminen). Jensenin (2000, 36) mukaan musiikki parantaa kykyä luoda, säilyttää, muuntaa ja suhteuttaa monimutkaistakin informaatiota. Yllä taulukoidut musiikki(-matemaattiset)elementit ovat ainoastaan esimerkkejä siitä, kuinka musiikki voi parantaa aika-avaruudellista hahmottamiskykyä ja siten laajemmin tarkasteltuna myös ongelmanratkaisutaitoja (Jensen, 2000, 36).

NCTM:n taulukointi lähtee puolestaan liikkeelle matematiikan ilmiöistä ja on samalla Jensenin taulukointia konkreettisempi. Pääteemat pysyvät samana (vrt. [luku]suhteiden ja kaavojen hahmottaminen, tiedon jäsentely, avaruudellinen hahmottaminen). Käytännöllisyydestään johtuen taulukko tarjoaa myös suoria ideoita musiikin ja matematiikan integraatioon nimeämällä aiheisältöjä, joissa nämä kaksi oppiainetta voisivat tukea toisiaan. NCTM indikoikin, että eristetty lähestyminen matematiikan opettamiseen ei ole kaikista paras ratkaisu: matematiikkaa on mielekkäintä oppia konteksteissa, jotka kannustavat luovaan ajatteluun ja ongelmanratkaisuun (ABC Music & Me).

2.1 Musiikki ja matematiikka aivotutkimuksessa

Tässä luvussa käsittelen musiikin ja matematiikan vaikutuksia aivoissa sekä neurofysiologisen aivotutkimuksen (mitä reaktioketjuja konkreettisesti tapahtuu aivoissa) että edelleen emotionaalisen tutkimuksen (miten esimerkiksi musiikin kuuntelu/tekeminen vaikuttaa aivoihin ja sitä kautta emotionoihin) näkökulmista. Aivotoiminnalliset tekijät ovat koko tutkimukseni perusta – kaikki, mikä liittyy ihmisen oppimiseen, kokemuksiin, tunteisiin, käyttäytymiseen ja ylipäätään olemiseen, pohjautuu aivoihin ja niiden toimintaan tai toimimattomuuteen.

Musiikin ja matematiikan integroimisen ja sen tuomien mahdollisten kokonaisvaltaisempien hyötyvaikutusten näkökulmasta aivotutkimusta on erityisen mielekästä käsitellä, sillä musiikin ja matematiikan välillä koetut yhteydet selitetään ja perustellaan usein neurologisesti (Jensen, 2000, 33). Neurologinen selitys tässä yhteydessä perustuu siihen,

että musiikin käsittely aivoissa tapahtuu samoilla tai lähekkäisillä alueilla toisen tutkitavan tehtävän (vrt. matematiikka, liite 2) kanssa. Tällöin kyseisen aivoalueen harjaantuttaminen musisoimalla edistää myös toisesta tehtävästä suoriutumista (ABC Music & Me.) Toisaalta tällaista siirtovaikutusta² on myös kritisoitu, sillä monissa tutkimuksissa musiikin on nähty vaikuttavan tutkimuksissa positiivisesti avaruudelliseen hahmotuskykyyn, muttei välttämättä kaikkiin matematiikan osa-alueisiin tai yleisesti älykkyyteen (Eerola, 2014).

Yli vuosisadan ajan aivotutkijat ovat kyenneet kartoittamaan aivotoimintoja sekä paikantamaan tiettyjä kognitiivisia funktioita (Levitin, 2006, 84). Lähivuosina neurotiede on kuitenkin kehittynyt merkittävästi eri kuvantamismenetelmien (esim. PET, MEG) ja kuvantamista helpottavien lääkkeiden (vrt. dopamiini, serotoniini) kehittämisen myötä sekä psykologisten lähestymistapojen kautta (Levitin, 2006, 11). Tieteen ja tekniikan kehitys siis mahdollistaa aivotoimintojemme yhä tarkemman ymmärtämisen.

Massiivisissa aivoissa tapahtuvat toiminnot kulkevat ja jakautuvat laajasti läpi koko aivojen, mistä johtuen aivoja ja aivotoimintoja on vaikea käsittää kokonaisvaltaisesti. Keskiertoaivoissa on satoja triljoonia (100 000 000 000) hermosoluja (neuroneja). Kun tarkasteltavien hermosolujen lukumäärä kasvaa, mahdollisten niiden välille muodostuneiden yhteyksien määrä kasvaa eksponentiaalisesti: jokainen hermosolu on kiinnittynyt toiseen – neljä eri neuronია voi olla yhteydessä toisiinsa jopa 63 eri tavalla, tai eivät ollenkaan. Hermoyhteyksien lukumäärä kasvaa lopulta niin suureksi, että emme todennäköisesti tule ikinä ymmärtämään kaikkia mahdollisia aivoissa syntyviä hermoyhteyksiä, emmekä varsinkaan sitä, mitä kyseiset yhteydet käytännössä tarkoittavat. (Levitin, 2006, 87–88.)

Kun yksilö alkaa esimerkiksi kuunnella musiikkia, yksilön aivojen hermosolut alkavat kuuloaistimuksen saadessaan reagoida. Reagoidessaan eli lähettäessään sähköimpulsseja aina eteenpäin toiseen hermosoluun, hermosoluista muodostuu hermoratoja. Samoja hermoratoja, jotka aktivoituvat musiikkia kuunnellessa, käytetään esimerkiksi ongelmanratkaisussa ja tarkemmin avaruudellista hahmottamista vaativien tehtävien ratkaisemisen yhteydessä. Mitä aktiivisemmin näitä hermoratoja käytetään, sitä enemmän ne

² Siirtovaikutuksella tarkoitetaan tässä kohtaa musiikin opiskelun tai pitkäaikaisen musiikkiharrastuksen ulkomusiikillisia (vrt. esim. matemaattinen osaaminen) vaikutuksia (Eerola, 2014, 57).

vahvistuvat. Tämän vahvistumisen puolestaan on havaittu johtavan parempiin taitoihin kummallakin osa-alueella. (ABC Music & Me.)

Musiikin kuuntelemisen ja tuottamisen aktivoimat aivoalueet ovat siis osittain samoja alueita (liite 2), joita käytetään matemaattisten (vrt. avaruudellista hahmottamista vaativien) ongelmien ratkaisemisessa (Jensen, 2000, 33). Tutkijat ovat vuosien saatossa tutkineet myös matemaattisen ajattelun aiheuttamaa aivotoimintaa erilaisten kuvantamismenetelmien sekä behaviorististen menetelmien avulla: esimerkiksi aivoinfarktipotilaiden keskuudessa toteutettu tutkimus indikoi, että aivojen etulohko (*frontal lobe*), parientaalilohko (*parietal lobe*) sekä temporaalilohko (*temporal lobe*) ovat matemaattisten taitojen kannalta oleellisia ja avainasemassa (Jensen, 2000, 33) aivan kuten musiikin kuuntelemisen ja tuottamisen yhteydessä (liite 1).

Käsittelen seuraavissa kolmannen tason luvuissa aivotutkimuksen kahta eri lähestymistapaa tarkemmin lähinnä musiikin näkökulmasta, sillä kuten yllä on jo todettu, erittelemissäni prosesseissa käytettävät aivoalueet ovat merkittävästi samat kuin matemaattiseen ajatteluun käytettävät, ja toimivat siten pohjana tutkimukselleni.

2.1.1 Neurofysiologinen aivotutkimus ja musiikki

Musiikki on lukuisista syistä erityisen mielenkiintoinen lähtökohta aivotutkijoille (Miranda & Overy, 2009, 247; Zatorre, 2005). Musiikin harjoittamisen ja havainnoinnin tutkimus voi parhaimmillaan tarjota näkemyksiä monipuoliseen valikoimaan myös muita aivotoiminnallisia prosesseja, kuten esimerkiksi emotionaalisiin reaktioihin, hienomotorisiin taitoihin, auditiiviseen prosessointiin, lyhytkestoiseen muistiin, kognitiiviseen ennustamiseen ja sosiaaliseen kommunikaatioon (Miranda & Overy, 2009). Myös se, että ihminen kykenee ottamaan musiikillista informaatiota vastaan jo varhaislapsuudessa, on herättänyt kiinnostusta musiikin harrastamisen ja lapsen kehityksen yhteyden tutkimiseen (Zatorre, 2005, 314).

Jo sikiö pystyy havaitsemaan ja oppimaan musiikkia. Tämä todennettiin tutkimuksella, jossa tulevat äidit kuuntelivat loppuraskautensa aikana tutkijoiden valitsemaa musiikkia, ja kyseiset äänet esitettiin kaiuttimista, jotta ne olisivat kuultavissa myös kohdussa. Lasten syntymän jälkeen heidän kuulemiinsa ääniin liittyviä aivovasteita verrattiin sellaisten lasten aivovasteiden kanssa, jotka eivät olleet kuunnelleet musiikkia kohdussa. Aivovasteet havaittiin tutkimuksessa riippuvaksi musiikin läsnäolosta tai puuttumisesta

sikiövaiheessa. Myös puheen havaittiin tuottavan suurempia reaktioita musiikkia kuunnelleiden – tutkimusajankohtana jo syntyneiden – lasten aivoissa kuin niiden, joiden äidit eivät olleet kuunnelleet raskausaikana musiikkia. (Tervaniemi, 2017.)

Lapsen aivotoiminnan on tutkimuksien perusteella havaittu hyötyvän musiikillisesta tekemisestä (vrt. esim. musiikkileikkikoulu). Musiikki tarjoaa hyviä mahdollisuuksia esimerkiksi kuulokyvyn kehittymiselle (muun muassa äänien ominaisuuksien erottelulle ja kuullun muistamiselle). Tämä erojen havainnointikyky auttaa pientä lasta myös kielellisen kehittymisen kannalta, sillä se auttaa havaitsemaan äidinkieltä ja siihen liittyviä äänneitä, kehittämään sanavarastoa sekä myöhemmin ymmärtämään ja lausumaan vieraita kieliä. (Linnavalli, 2019.) Voidaankin ajatella, että varhaisikäiset ihmisäivot eivät käsitä kieltä ja musiikkia erillisinä alueina, vaan kielen musiikin eräänä ilmenemismuotona ja toisaalta musiikin erityisenä äänen muotona (Koelsch, 2019, 204).

Aikaa vievänä aktiviteettina musiikin on havaittu vaikuttavan myös positiivisesti keskittymiskykyyn. Positiiviset vaikutukset ovat ilmenneet lukuisissa tutkimuksissa koskien musiikkia harrastavien lasten aivoja ja käyttäytymistä. (Huotilainen & Putkinen, 2008.) Toisaalta tiedetään myös, että iän myötä tapahtuva hermostollinen rappeutuminen etenkin kuulollisen ja kognitiivisen toiminnan suhteen on hitaampaa yksilöillä, jotka ovat harrastaneet aiemmin musiikkia. (Tervaniemi, 2017.)

Tutkimusten perusteella on havaittu, että muusikoiden äivot eroavat rakenteellisesti ja toiminnallisesti ei-muusikoiden aivoista (vrt. esim. Collins, 2014; Miranda & Overy, 2009; Virtala, 2015). Yleisesti tarkastellen muusikoiden äivot ovat tiheimmät ja rakenteiltaan (vrt. aivokurkiainen, liite 1) kehittyneemmät kuin ei-muusikoiden äivot. Muusikoiden aivoilla on myös ei-muusikoiden aivoja nopeampi ja tehokkaampi kyky prosessoida sekä paremmat edellytykset muistamiselle ja muistista palauttamiselle. (Collins, 2014, 7.)

Kuuleminen ja kuunteleminen ovat kaksi eri toimintoa (Jensen, 2000, 77). Kuulemisella tarkoitetaan passiivista kykyä vastaanottaa auditiivista informaatiota korvien, ihon ja kuuloluiden kautta aina aivoihin asti. Sitä vastoin kuunteleminen on aktiivista toimintaa, joka pitää sisällään kyvyn suodattaa, analysoida kuuloaistimuksia sekä vastata kuultuun (Jensen, 2000, 77). Musiikin kuunteleminen ja musiikin tekeminen siis aktivoivat ja edelleen synkronoivat hermoratoja, mikä puolestaan aiheuttaa moninaisia kognitiivisia toimintoja aivojen eri puolilla. Avainasemassa tässä – aivan kuten myös matemaattises-

sa ajattelussa – ovat aivojen etulohko, parientaalilohko, temporaalilohko sekä pikkuaivot (liite 1). (Jensen, 2000, 30.)

Kun kuuloaistimus saavuttaa sisäkorvan, se muuttuu neuraalisiksi (hermostollista toimintaa sisältäviksi) impulsseiksi, jotka kulkevat aivojen lukuisia hermoratoja pitkin ja saavuttavat lopulta aivojen kuuloaivokuoren. Kuuloaivokuori muodostuu monista eri alasektioista, joista jokaisella on tärkeä tehtävä impulssien purkutyössä ja edelleen kuullun äänen eri ominaisuuksien avaamisessa. Jotta kuullusta voidaan muodostaa mahdollisimman tarkka kuva, aivokuoren saavuttaneen informaation on oltava vuorovaikutuksessa lukuisten muiden aivoalueiden, erityisesti etulohkon, kanssa. (Zatorre, 2005, 312.)

Tämän johdosta, kun kuuntelemme musiikkia, aivojemme auditiivinen systeemi purkaa kuullun pieniin osiin – aivot aktivoivat vaihtelevia aivoalueita eristääkseen ja tulkitakseen erilliset elementit kuullusta musiikista (Miranda & Overy, 2009, 248). Eräässä tutkimuksessa (Jensen, 2000, 12) pyrittiin havainnollistamaan juuri näiden tiettyjen kuultujen musiikillisten elementtien aiheuttamia aivoreaktioita. Tutkimukseen osallistuneet henkilöt – sekä muusikot että ei-muusikot – kuuntelivat noin 100 kappaletta. Musiikki-valikoima sisälsi musiikkia, jossa rytmi, äänenkorkeus sekä äänensävy (*timbre*) vaihtelivat. Lisäksi osa musiikista oli koehenkilöille ennestään tuttua musiikkia ja osa heille aivan uutta musiikkia. Tutkimuksen aikana koehenkilöiden aivotoimintoja kuvattiin käyttäen apuna PET-skannausta (positroniemissiotomografia). (Jensen, 2000, 12.)

Tutkimuksessa (Jensen, 2000, 12) havaittiin kummallekin (muusikolle sekä ei-muusikolle) musiikin kuuntelemisesta aiheutuneita yhteispiirteitä. Muun muassa ennestään tutun musiikin ja rytmin kuunteleminen aktivoivat vasemmassa aivolohkossa sijaitsevan Brocan alueen (liite 1). Äänenkorkeuden havainnointi puolestaan näkyi reaktiona aivojen vasemman lohkon takaosassa sijaitsevassa precuneuksessa. Niin ikään musiikissa esiintyvän harmonian tarkkailu aktivoi enemmän vasenta kuin oikeaa aivolohkoa. Ainoa ainoastaan oikean aivolohkon aktivoinut musiikillinen elementti oli äänensävy. Kummatkin aivolohkot aktivoi melodialinjan kuuntelu. Alla oleva taulukko (mukailtu, Jensen, 2000, 15) tarkentaa edelleen saatuja tuloksia:

MUSIIKILLINEN ELEMENTTI	AKTIVOITUVA AIVOALUE	MUSIIKILLINEN TAUSTA
yleinen kuunteleminen	vasen aivolohko, kuuloaivokuori	muusikko
yleinen kuunteleminen	oikea aivolohko, kuuloaivokuori	ei-muusikko
sävelkorkeuden kuunteleminen	vasen aivolohko, precuneus	muusikko
äänensävyyn kuunteleminen	oikea aivolohko	molemmat
melodian kuunteleminen	oikea temporaalilohko	molemmat
rytmin kuunteleminen	Brocan alue, pikkuaivot	molemmat
tutun musiikin kuunteleminen	Brocan alue	molemmat
kappaleen nimen muisteleminen (kuunneltaessa)	vasen aivolohko, temporaalilohko	molemmat
sanojen ymmärtäminen (kuunneltaessa)	Wernicken alue	molemmat
tutun musiikin kuunteleminen	pikkuaivot, temporaalilohko, parientaalilohko	molemmat
tuntemattoman musiikin kuunteleminen	pikkuaivot, temporaalilohko, parientaalilohko, etulohko	muusikko
melodisen linjan kuunteleminen	oikea aivolohko, kuuloaivokuori	molemmat

Kuva 3. Eri musiikillisten elementtien tarkastelun aktivoimat aivoalueet muusikon ja ei-muusikon aivoissa. (Kaperi, 2017, mukailtu, Jensen, 2000, 15.)

Yllä olevasta taulukosta (kuva 3) huomataan edelleen, että muusikoiden ja ei-muusikoiden aivot reagoivat eri tavoin joihinkin musiikillisiin elementteihin: Kun muusikko kuunteli musiikillista yleiskuvaa, hänen vasemman aivolohkonsa kuuloaivokuori aktivoitui, kun taas ei-muusikolla kuunneltava musiikki aktivoi oikean aivolohkon kuuloaivokuoren. Sävelkorkeuden spesifi kuunteleminen sai aikaan reaktion muusikon aivojen vasemmassa aivolohkossa precuneuksessa, mutta ei-muusikon aivot eivät reagoineet erityisesti kyseistä elementtiä tarkkailtaessa. Lisäksi aiemmin tuntemattoman musiikin kuuntelemisen aiheuttamissa reaktioissa oli eroja: kuunteleminen ei aktivoinut ei-muusikon aivoja juurikaan, mutta muusikon aivoissa lukuisat osat aktivoituivat. Muun muassa näiden erojen perusteella on todettu musiikin pitkäaikaisella harjoittamisella ja

tekemisellä olevan musiikin kuuntelemista suurempi aktivoiva vaikutus aivoihin (ABC Music & Me; Jensen, 2000).

Paula Virtala (2015) tutki väitöskirjassaan neljässä eri tutkimuksessa yksilön hermostollisen perustan ja sen kehityksen merkitystä yhteydessä nimenomaan länsimaisen musiikin sointujen esitietoiseen käsittelyyn mittaamalla aivosähkökäyrän (EEG) tapahtumaisidonnaisia jännitevasteita MMN-koeasetelmaa (*mismatch negativity paradigm*) käyttäen. Kokonaisuudessaan tutkimukset pitivät sisällään koehenkilöitä vastasyntyneistä aikuisiin sekä ei-muusikoista musiikillisesti kouluttautuneisiin henkilöihin. (Virtala, 2015.)

Ensimmäisessä tutkimuksessa havaittiin, että duuri-molli- ja ³konsonanssidissonanssisointuluokittelut olivat havaittavissa perusmuotoisessa duurisointukontekstissa (MMN-menetelmällä) aikuisten ei-muusikoidenkin aivoissa. Tästä voidaan päätellä kyseisten luokitteluiden oppimisen olevan riippumatonta pitkästä muodollisesta musiikinopiskelusta. Toinen tutkimus kuitenkin osoitti, että kouluikäisten lasten (tutkimuksessa 13-vuotiaat), jotka eivät harrastaneet musiikkia, parissa hermostollista (esitietoista) vastetta molli- ja duurisointujen erottelulle ei saatu. Musiikkiharrastus voikin korostaa ja nopeuttaa länsimaisen musiikin sointuluokittelun käsittelyä. (Virtala, 2015, 67.)

Kolmas tutkimus osoitti, että sekä duuri-molli- että erityisesti konsonanssidissonanssiluokittelut ovat havaittavissa vastasyntyneenkin aivoissa (eri tavalla polarisoituneiden MMR:n⁴ perusteella), vaikka vastasyntyneiden kuulojärjestelmä (*auditory system*) onkin monella tapaa vielä epäkypsä ja vaikka vastasyntyneet eivät ole altistuneet länsimaiselle musiikille vielä paljoakaan. (Virtala, 2015, 67–68.) Neljännessä tutkimuksessa huomattiin (MMN-menetelmä) aikuisten muusikoiden kykenevän erottelemaan mollisoinnut sekä duurisointukäännökset perusmuotoisten duurisointujen kontekstista – ei-muusikoilla tätä erottelukykyä ei havaittu. Aikuiset muusikot olivat siis ainoa ryhmä, joka tuotti MMN-vasteita duurisointukontekstissa esiintyvien sointukäännösten yhteydessä, mistä voidaan päätellä ainakin tämän luokittelukyvyyn vaativan laajaa koulutusta, jotta se ilmenisi esitietoisella kuuloprosessointitasolla. (Virtala, 2015, 68.)

³ Konsonanssi = tasasointuisuus, dissonanssi = riitasointuisuus (Virtala, 2015).

⁴ MMR (*mismatch response*) on termi, joka kuvaa vastasyntyneiden tapauksessa pienin eroin samaa ilmiötä kuin termi MMN lasten ja aikuisten tapauksessa (Virtala, 2015).

Jo vastasyntyneellä lapsella on siis valmiuksia musiikin käsittelyyn ja esimerkiksi sointujen erotteluun. Yllä esiteltyjä oman kulttuurin musiikille tyypillisiä prosessointitaitoja (vrt. duuri vs. molli, konsonanssi vs. dissonanssi) opitaan ilmankin musiikin muodollista harrastamista jossain määrin biologisin perustein (Virtala & Tervaniemi, 2017), mutta musiikkikoulutus tehostaa prosesseja ja kykyä käsitellä kuultua musiikkia jo lapsena. Musiikin harrastaminen on siis yhteydessä länsimaisen musiikin sointujen tehostuneeseen erotteluun tehtäväsuoriutumisen tasolla aikuisilla sekä hermostollisella tasolla kouluikäisillä lapsilla, nuorilla ja aikuisilla. (Virtala, 2015.) Vakaan sointuluokittelukyvyyn syntyminen saattaa siten vaatia pitkäkestoista musiikkikoulutusta. (Virtala, 2015; Virtala & Tervaniemi, 2017.)

2.1.2 Musiikki, emootiot ja aivot

Vaikka aivotutkimus on tarkentunut merkittävästi vasta viimeisien vuosikymmenien aikana, musiikin vaikutusta aivoihin ja siten esimerkiksi emootioihin on pohdittu vuosituhansien ajan. Länsimaisessa kulttuurissa on yleisesti hyväksytty tieto, että musiikilla on kyky paitsi ilmaista tunteita myös herättää emotionaalisia vasteita kuulijan aivoissa. (Vuokoski & Eerola, 2012.) Jo 3–5-vuotiaiden lasten tapauksessa musiikin on havaittu mahdollistavan tiettyjen tunteiden tuntemista ja ilmaisua (Saarikallio, Tervaniemi, Yrtti & Huotilainen, 2019). Yksi merkittävä emotionaalinen (aivo)vaste musiikille on mielihyvän tunne, joka saattaa intensiivisimmillään ilmetä kylminä väreinä – mielihyvän tunne perustuu dopamiinia välittäjäaineenaan käyttäville aivoalueille (Blood & Zatorre, 2001; Brattico, 2019, 376). Musiikin voidaankin nähdä olevan merkittävä hyötytekijä yksilön fyysisessä ja psyykkisessä hyvinvoinnissa (Blood & Zatorre, 2001, 11823).

Musiikin kuuntelija ja/tai tekijä voi kokea voimakkaita tunteita erittäin laajalta kirjoilta. Musiikki voi esimerkiksi tuottaa onnea, surua, herättää kiinnostusta tai nostalgiatunnetta. (Juslin & Sakka, 2019; Koelsch, 2010.) Musiikin vaikutus emootioihin voi ilmetä muun muassa aivojen limbisten ja paralimbisten alueiden toiminnassa sekä muutoksina autonomisen hermoston sekä immuuni- ja hormonijärjestelmien toiminnassa (vrt. sydämen lyöntitiheys, hengitystahti ja kortisolihormonin erittyminen) (Blood & Zatorre, 2001; Koelsch, 2010). Aivojen kannalta tarkasteltuna musiikin kuunteleminen ja tekeminen aktivoivat siis erittäin laajalti aivoja koko aivojen alueelle ulottuen, mistä johtuen tunne voi herätä lukuisilla eri aivotasoilla (Juslin 2019, Juslinin & Sakan, 2019, 289, mukaan). Tästä syystä tiettyjen musiikin herättämien tunteiden yhdistäminen tarkasti tietyille aivoalueille on osoittautunut yhdeksi neurotieteiden haastavimmaksi ja toisaalta

mielenkiintoisimmaksi haasteeksi (Juslin & Sakka, 2019, 285). Lisäksi se, millaisia tunteita juuri musiikki voi kuulijassa herättää, on tutkijoiden keskuudessa kiistelty aihe (Vuokoski & Eerola, 2012).

Emotionaalisten aivovasteiden voidaan kuitenkin olettaa pitävän sisällään kolme yleistä aivoalueyhtä:

1. Aivoalueet, jotka osallistuvat musiikin kuuntelemiseen ja hahmottamiseen (vrt. luku 2.1.1)
2. Aivoalueet, jotka ovat aina mukana emotionin tietoisessa tuntemisessa tunnelähteestä riippumatta (vrt. esim. pihtipoimu, mediaalinen etuotsalohkon kuori, liite 1)
3. Aivoalueet, jotka osallistuvat informaation prosessointiin ja ovat riippuvaisia siitä, mikä aiheutti tunteen

(Juslin & Sakka, 2019, 302.)

Esimerkiksi musiikin kuuntelemisen aktivoivia spesifimpiä aivomekanismeja, jotka saavat aikaan emotionioita, voidaan edelleen eritellä seuraavalla tavalla:

1. Aivorunkorefleksi (*brainstem reflex*)

Huomion herääminen perusakustisiin elementteihin – esimerkiksi äänenvoimakkuus, äänensävy. Reaktio voi aiheuttaa esimerkiksi yllättyneisyyden tai hämmästyksen tunteita.

2. Rytmillinen sopeutuminen (*rhythmic entrainment*)

Asteittain etenevä sisäisen rytmin (vrt. sydämen syke) sopeutuminen ulkoiseen rytmiin (vrt. kuultu musiikki). Reaktio voi aiheuttaa esimerkiksi innostusta.

3. Arvioiva ehdollistaminen (*evaluative conditioning*)

Kuullun musiikin nivoutuminen positiivisen tai negatiivisen miellelyhtymän kanssa. Reaktio voi esimerkiksi aiheuttaa onnea, mikäli kyseinen kappale yhdistyy positiiviseen elämäkokemukseen.

4. Tartunta (*contagion*)

Sisäinen taipumus kopioida kuullun kappaleen ilmaisutyylillä ja/tai elementit omiin tuntemuksiin. Esimerkiksi hitaan, hiljaisen, paljon vibratoa ja rubatoa sisältävän sellokappaleen kuuleminen voi aiheuttaa surua.

5. Visualisointi (*visual imagery*)

Sisäiset tiettyä emootiota heijastavat mielikuvat, jotka syntyvät kuullun kappaleen musiikillisen rakenteen hahmottamisesta. Kuulija voi esimerkiksi rentoutua saadessaan mielikuvan tietystä rauhoittavasta maisemasta.

6. Lyhytaikainen muisti (*episodic memory*)

Tietoinen tietyn tapahtuman muistaminen, minkä tietty musiikki laukaisee. Kuulija voi kokea nostalgista tunnetta, kun kuulee kappaleen, jonka soidessa kuulija tapasi kumppaninsa.

7. Musiikilliset odotukset (*musical expectancy*)

Vaste odotetuille tai odottamattomille rakenteille tai elementeille kuullussa musiikissa. Kuulija voi esimerkiksi ahdistua, kun kappaleesta puuttuu itselle tuttu ja ennakoitu tonaliteetti.

8. Esteettinen arviointi (*aesthetic judgement*)

Henkilökohtainen arvio kuullun musiikin esteettisestä arvosta. Kuulija voi esimerkiksi saada mielihyvää Bachin teoksen poikkeuksellisesta kauneudesta tai ilahtua esittäjän poikkeuksellista taidoista/tulkinnasta.

(Juslin & Sakka, 2019, 289–290.)

Laajasti tarkasteltuna voidaan päätellä musiikin kuuntelemisen muuttavan verenkiertoa emotionaalisen prosessoinnin kannalta ydinaivoalueilla. Alue ei siis ole yksittäinen eikä kaikki syntyvät tuntemukset kattava, vaan koostuu useista subkortikaalisista (aivokuorenalaisista) ja kortikaalisista (aivokuorellisista) alueista. Suurin osa aktivoituvista alueista on osa (laajaa) limbistä järjestelmää (vrt. manteliumake, hippokampus, aivojuovio, pihtipoimu, aivosareke, etuotsalohkon kuori ja etuotsalohko, pikkuaivot, frontaalinen aivopoimu, hippokampaalinen aivopoimu sekä useat aivorunkorakenteet, liite 1). (Juslin & Sakka, 2019, 296.)

Musiikilla – erityisesti sen yllä avatuista emotionaalisista aivovaikutuksista johtuen – on koettu olevan tärkeä merkitys myös ihmisten yhteistoiminnallisuudessa läpi vuosituhansien. Se korostaa yhteenkuuluvuuden tunnetta sekä ryhmäpönnistuksen tärkeyttä. Musiikin tekeminen ryhmässä on ihmisaivoille erittäin vaativa tehtävä, joka vaatii laajan ja rikkaan sarjan kognitiivisia ja affektiivisiä prosesseja (vrt. hahmotuskyky, integrointikyky, oppimiskyky, muisti, toiminta, sosiaalinen kognitio, synteettinen prosessointi jne.). (Koelsch, 2010; Koelsch, 2011.)

Musiikin tekeminen pitää Koelschin (2010) mukaan sisällään useita pohjautuvia sosiaalisia toimintoja:

1. Kun teemme musiikkia, olemme toisten yksilöiden kanssa tekemisissä, mikä esittää sosiaalista eristäytymistä.
2. Musiikki kytkeytyy automaattisesti sosiaaliseen kognitioon.
3. Musiikin tekeminen edesauttaa yksilöidenvälisen tunnetilojen yhtenäistymistä, ymmärtämistä ja siten konfliktien vähenemistä.
4. Musiikki pitää sisällään kommunikaatiota – erityisesti lapsille musiikillinen kommunikaatio esimerkiksi vanhempien laulaessa tuutulauluja on tärkeä tekijä sosiaalisessa ja emotionaalisessa säätelyssä sekä kehityksessä (vrt. myös Geist, Geist & Kuznik, 2012).
5. Musiikin tekeminen vaatii liikkeen koordinoitavuutta – esimerkiksi oman liikkeen synkronointia ulkoiseen sykkeeseen. Yksilöiden liikekoordinaatio ryhmässä yhdistetään usein mielihyvään (vrt. esim. tanssiminen), vaikka yhteisellä koordinaatiolla ei edes olisi yhteistä tiettyä tavoitetta.
6. Musiikin esittäminen vaatii yhteistoiminnallisuutta ja pitää sisällään yhteisen tavoitteen ja siten kohoavan yksilöidenvälisen luottamuksen. Yhteistoiminnallinen käyttäytyminen on tärkeä potentiaalinen mielihyvän tunteen lähde.
7. Musiikki lisää tunnetta kuuluvuudesta ja kohottaa motivaatiota muodostaa ja säilyttää kiintymyssuhteita toisiin ihmisiin.

(Koelsch, 2010, 132.)

Musiikin koetaan emotionaalisesti merkityksellisenä järjestelmänä mahdollistavan myös vaikeiden tunnekokemusten käsittely turvallisella tavalla. Eräässä tutkimuksessa (Vuokoski & Eerola, 2012) havaittiin surullisen musiikin voivan aiheuttaa kuulijassa surun tunteeseen liittyviä muisti- ja arviointivaikutuksia myös tilanteissa, jossa kuultu musiikki on kuulijalle ennalta tuntematonta ja siten vailla ”omaelämäkerrallista” (*autobiographical*) sisältöä. Tunnettu suruvaikutus on kuitenkin jokseenkin riippuvainen kuulijan luonteesta ja kuullun musiikin merkityksestä kuulijalle. Surua herättävän musiikin kuuntelun havaittiin lisäksi olevan yksilölle mieluisampaa kuin surullisten omaan elämään liittyvien tapahtumien muistelu. Vaikka surullisen musiikin kuuntelulla on havaittu olevan samankaltaisia vaikutuksia muistiin ja arviointiin (kuin esimerkiksi surullisilla muistoilla), on musiikin aiheuttaman surun todettu olevan oleellisesti miellyttävämpää surua. (Vuokoski & Eerola, 2012.)

Musiikki on yksi tärkeimmistä elementeissä paitsi yksilön tunteiden ilmaisemisessa ja käsittelyssä myös ahdistuneisuuden vähentämisessä, psykologisten toimintahäiriöiden hoitamisessa, ajanhallinnassa, selviytymisen keinojen oppimisessa sekä elämänlaadun parantamisessa (Erginsoy Osmanoglu & Yilmaz, 2019). Lisäksi aivotutkimuksen tasolla on pystytty todentamaan mekanismeja, joilla musiikki vaikuttaa kuntouttavasti aivoverenkiertohäiriöitä kokeneiden potilaiden toipumiseen, sillä se edistää kognitiivista ja emotionaalista parantumista ja nostaa siten potilaiden elämänlaatua. Muistisairaiden ihmisten tapauksessa musiikin kuuntelun tai esimerkiksi laulamisen on havaittu vähentäneen kognitiivista heikkenemistä. (Tervaniemi, 2017.)

Nuorelle (*adolescent*) musiikki mahdollistaa mielialan säätelyä (*mood regulation*) erittäin moninlaisella tavalla. Nuorten on havaittu pystyvän musiikin avulla uudelleenohjaamaan keskittymisensä stressistä, huolista ja häiriötekijöistä. Musiikki tarjoaa nuorelle mielikuvia ja mahdollisuuksia reflektioon ja samalla kokemuksia myötätunnosta ja lohdusta. Musiikin on havaittu aikaansaavan voimakkaita tunnereaktioita nuorella ja siten toimivan keinona uudistaa itseään ja edistää toipumista. (Saarikallio & Erkkilä, 2007.) Nuoren mielialan säätelyn seitsemäksi päästrategiaksi musiikin kuuntelemisen ja/tai tekemisen yhteydessä koetaankin viihdyttäminen (*entertainment*), elpyminen (*revival*), voimakas tunteminen (*strong sensation*), uudelleenohjaaminen (*diversion*), vapautuminen (*discharge*), mentaalityöskentely (*mental work*) ja lohtu (*solace*) (Saarikallio & Erkkilä, 2007, 96).

Musiikin kuunteleminen ja erityisesti tekeminen siis mahdollistaa lukuisten kognitiivisten toimintojen (vrt. jäsentely, luovuus, ajattelu, päätöksenteko, ongelmanratkaisu) kehittymisen, sillä se aktivoi aivoalueita, jotka ovat näiden (kognitioiden) kannalta merkityksellisiä (vrt. kuva 3) (Jensen, 2000, 30). Musiikin tekeminen kehittää myös keskittymiskykyä (vrt. Huotilainen & Putkinen, 2008) ja korostaa yhteenkuuluvuutta sekä yhteistoiminnallisuutta (vrt. Koelsch 2010; Koelsch, 2011). Lukuisat musiikkia tehdessä aktivoituvat aivoalueet ja -mekanismit mahdollistavat laajan tunteiden kirjjon, joka parhaimmillaan liikuttaa, tuottaa mielihyvää, auttaa muistamaan tai helpottaa vaikeiden asioiden käsittelyä (vrt. Juslin & Sakka, 2019; Saarikallio & Erkkilä, 2007; Tervaniemi, 2017).

Jotta tietoisuus musiikin aivovaikutuksista ja siten esimerkiksi vaikutuksista oppimiseen ulottuisivat oppimisympäristöjen ja pedagogien arkipäivään, tutkijoiden on edelleen jatkettava työtä selventääkseen jo saatuja tuloksia (Collins, 2014, 8). Mitä paremmin opettajat ymmärtävät musiikin ja musiikinopetuksen tuomia hyötyjä lapsen aivojen kehitykselle, sitä enemmän esimerkiksi opettajien sitoutuminen, vastuuntunto sekä itsetunto suhteessa musiikin opettamiseen kasvavat (Collins, 2014, 1). Tervaniemi (2017, 225) puolestaan korostaa, kuinka jokaista erillistä uutta käytäntöä tulee tutkia huolellisesti ja todistepohjaisesti ennen kuin niitä voi suositella laajempaan käyttöön – musiikin vaikutuksista älyn eri osa-alueisiin on myös kiistelty (Eerola & Eerola, 2014). Lisäksi tutkimus siitä, kehittääkö musiikki yleistä oppimista ja akateemisia taitoja suoraan vaikuttan tärkeisiin kognitiivisiin toimintoihin vai ennemminkin epäsuorasti kasvattamalla motivaatiota ja sitoutuneisuutta oppimistilanteisiin, nähdään tarpeellisena (Tervaniemi & Putkinen, 2019, 556).

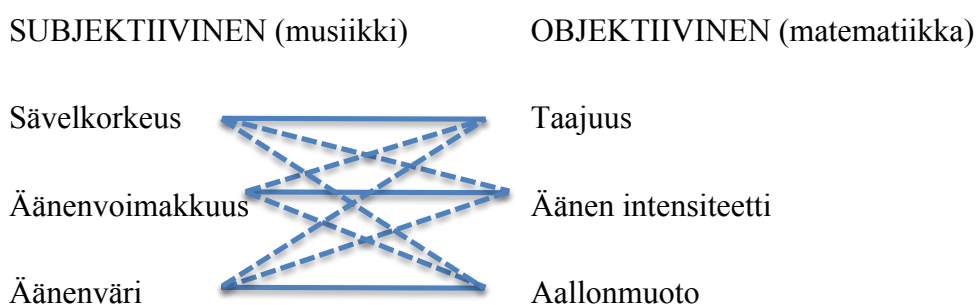
Nähdäkseni entistä laajempi aivotutkimus musiikin ja/tai musiikin ja matematiikan näkökulmasta mahdollistaisi paitsi tarkemman käsityksen niiden rinnakkain kuljettamisen ja oppimisen mahdollisista hyödyistä myös vaikuttaisi positiivisesti aineiden – etenkin musiikin, jonka arvostus koulumaailmassa on esimerkiksi matematiikkaa alhaisempi (Tossavainen & Juvonen, 2013) – arvostukseen itseisarvona koulumaailmassa.

2.2 Ääni, musiikinteoria ja matematiikka

*Kielten soinnissa on geometriaa, sfäärien avaruuksissa on musiikkia.
(Pythagoras)*

Pythagoras ja monet hänen seuraajansa uskoivat musiikin ja matematiikan olevan ilmauksia luonnon harmoniasta. Pythagoraan löytöjä voidaan kuvata muun muassa yksinkertaisella esimerkillä siitä, kuinka soittimen kielen pituus ja kuultava sävelkorkeus noudattavat tiettyä kaavaa: Kun tietyn pituista kieltä näppäillessä saadaan aikaan tietyn korkuinen sävel, puolet lyhyempää kieltä näppäillessä saadaan oktaavia korkeampi ääni (suhdeluku 2:1). Jos taas kieli on kaksi kolmasosaa alkuperäisestä kielestä, kuuluva sävel on puhtaan kvintin alkuperäistä säveltä korkeampi (suhdeluku 3:2). Kielen ollessa kolme neljäsosaa alkuperäisestä, kuultu sävel on puhtaan kvartin korkeampi (suhdeluku 4:3). Nämä suhdeluvut koettiin täydellisen harmonisina – aivan samalla tavalla kuin muutkin antiikin kreikkalaisten täydellisistä luonnonharmonioista, joihin kuului esimerkiksi planeettojen liike avaruudessa. (White & White, 2014, 3.)

Luonnontieteilijöiden ja muusikoiden tavassa puhua äänestä on kuitenkin yksi perustavanlaatuisen ero: Muusikot kokevat äänen subjektiivisesta näkökulmasta ja käyttävät sen kuvailemiseen adjektiiveja kuten kirkas, tumma, nasaali, puhdas, pyöreä ja niin edelleen. Luonnontieteilijät puolestaan pyrkivät mahdollisimman objektiiviseen näkökulmaan ja siihen, että erilaisten kokeiden tulokset olisivat ilmaistavissa numeerisilla ja tarkoilla termeillä. Näiden objektiivisten ja subjektiivisten näkökulmien suhdetta toisiinsa voidaan kuvata alla olevalla taulukolla (kuva 4). Voidaan huomata, että suhteet subjektiivisten termien (musiikki) ja objektiivisten käsitteiden (matematiikka) välillä ovat kompleksisia ja moniulotteisia, mutta olemassa.



Kuva 4. Subjektiivinen ja objektiivinen näkökulma äänen ominaisuuksiin. (Mukaiilu, White & White, 2014, 5.)

Kuten taulukosta voidaan havaita, esimerkiksi äänenvoimakkuus on vahvasti yhteydessä ääniaallon intensiteettiin (jatkuva viiva). Jos kuitenkin äänen taajuus on tarpeeksi suuri, ääntä ei voi kuulla ollenkaan – äänenvoimakkuus on siis riippuvainen myös ääniaallon taajuudesta (katkoviiva). (White & White, 2014, 6.)

Akustiikan tieteellisen ymmärtämisen kehittyessä musiikillisen äänen perinpohjaiseen ymmärtämiseen ja kuvaamiseen tarvitaan kuitenkin entistä enemmän fysiikan lakeja (White & White, 2014, 6). Tästä johtuen näiden lakien, käsitteiden ja suhteiden ymmärtäminen on mielestäni oleellista musiikin ja matematiikan integroimisen mahdollisuuksien hahmottamisessa. Lisäksi kyseiset yhtäläisyydet tarjoavat konkreettisia integrointimahdollisuuksia musiikin ja fysiikan oppiaineiden ainesisältöjen välillä.

2.2.1 Ääniaallot

Kun esimerkiksi viulun kieli värähtelee, värähtelyn aikaansaamat mekaaniset aallot etenevät ilmassa, ja saavuttaessaan kuulijan korvan ja aivojen kuuloalueen ne saavat aikaan kuuloaistimuksen. Kuuloaistimus saa kuulijan aivoissa aikaan lukuisia reaktioita (ks. luku 2.1). Kaikki musiikillinen ääni on siis lähtöisin jonkinlaisesta värähtelevästä systeemistä – kielisoittimissa värähtelee kieli, puhaltimissa ilmapatsas, lyömäsoittimissa kalvo ja esimerkiksi kaiuttimissa puhekela (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 35). Aallon perusominaisuuksiin kuuluu energian ja informaation siirtäminen väliaineessa paikasta toiseen siirtämättä itse väliainetta (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 43).

Ääni on mekaanista aaltoliikettä, joka etenee väliaineessa (esim. ilma, vesi). Kun väliaine on olomuodoltaan kaasu (vrt. ilma), ääniaallot ovat pitkittäisiä paineaaltoja – ääniaalto etenee pitkittäissuunnassa väliaineen (ilman) tihentyminä ja harventumina. Ääniaallon(kin) kuvaamiseen saatetaan käyttää visuaalisen selkeyden vuoksi kuitenkin poikittaista aaltokuvaa (ks. alla olevat aaltokuvat), jossa kuvattu aallonpohja kuvaa pitkittäisen aallon harventumaa ja huippu tihentymää. (Chabay & Sherwood, 2015; Rossing, Moore & Wheeler, 2014; White & White, 2014.)

Esimerkiksi kuultavan äänen korkeus riippuu värähtelevän esineen tai kielen värähtelytaajuudesta f . Taajuus f on värähtelyiden lukumäärä aikayksikköä (sekuntia) kohti:

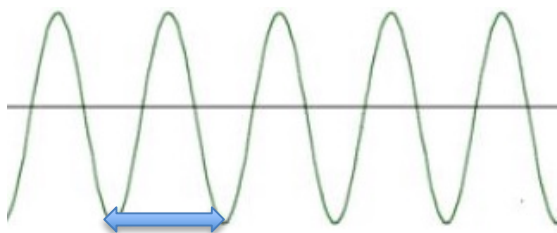
$$f = \frac{1}{T}$$

Taajuuden yksikkö on hertsi⁵ (Hz). (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 44.) Mitä suurempi taajuus on, sitä korkeampi on kuultava ääni. (White & White, 2014.) Ihmisen

⁵ Yksikkö on nimetty Heinrich R. Hertzin mukaan, joka tuli tunnetuksi 1800-luvun loppupuolella elektromagneettisten aaltojen löytämisestä (White & White, 2014, 11).

normaali kuuloalue on 20–20 000 Hz, mikä on vielä ihmisen näkökykyäkin huomattavasti laajempi taajuusalue. Ihmisen näkökyvyn laajuus vastaa taajuuksiltaan noin oktaavia (aallonpituuksiltaan 400–750 nanometriä), kun taas ihmisen kuulokyky on laajuudeltaan noin yhdeksän kertaa suurempi. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 79–80.)

Aallonpituus (λ , kuvassa nuolien osoittama välimatka) on kahden peräkkäisen aallon vastaavien pisteiden etäisyys toisistaan (esim. aallonpohjan etäisyys toiseen aallonpohjaan). (Chabay & Sherwood, 2015, 953.)



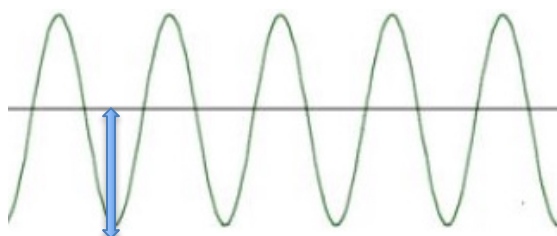
Ääniaallon etenemisnopeus (v) voidaan puolestaan laskea taajuuden ja aallonpituuden tulona (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 40; White & White, 2014, 22):

$$v = f\lambda$$

Taajuuden, aallonpituuden ja etenemisnopeuden välillä ovat siis yllä olevan lisäksi yhteydet:

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad \text{JA} \quad \lambda = \frac{v}{f}$$

Amplitudilla (A) tarkoitetaan aallon suurinta poikkeamaa tasapainoasemasta (vrt. kuva alla) (Chabay & Sherwood, 2015, 952).



Äänen intensiteetti I kuvaa äänen voimakkuutta. Se voidaan ilmaista ääniaallon etenemissuuntaa vastaan kohtisuoralle pinnalle kohdistuvan äänen tehona pinta-alaa kohti:

$$I = \frac{P}{A}$$

jossa A on kohtisuoran pinnan pinta-ala ja P äänen teho. Intensiteetin yksikkö on tällöin W/m^2 . (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 79–80.)

Äänen intensiteetti siis pienenee etäisyyden kasvaessa suhteessa äänilähteeseen. Myös erilaiset esteet heikentävät voimakkuutta, ja heikentävä efekti on sitä merkittävämpi mitä korkeampi ääni on. Esimerkiksi verhot ja huonekalut huoneessa vaimentavat erityisesti korkeita ääniä. (White & White, 2014.)

Ihmisen havaitsema äänen voimakkuus ei kuitenkaan ole suoraan verrattavissa äänen intensiteettiin. Jos äänen intensiteetti kasvaa kuusinkertaiseksi, ihmisen aistima äänen voimakkuus kasvaa sitä huomattavasti vähemmän. Tätä havaittua voimakkuutta kuvaa äänen intensiteettitaso L. Intensiteettitaso on desibeli (dB). (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 99–101.)

$$L = 10\text{dB} \times \log \frac{I}{I_0}$$

jossa I on havaittu äänen intensiteetti ja I_0 on intensiteetin vertailutaso 10^{-12}W/m^2 . Valittu vertailutaso on ihmisen kuulokynnys eli heikoin ääni, jonka voi kuulla. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 100.) Äänen intensiteetti (I) ja intensiteettitaso (L) kuvaavat kahta eri asiaa – intensiteetti äänilähdettä ja intensiteettitaso ääntä jossakin pisteessä ihmisen havaitsemana. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 101.)

Eräät muusikot ovat karkeasti havainnollistaneet tätä äänen intensiteetin ja havaitun äänen voimakkuuden suhdetta seuraavasti (White & White, 2014, 103):

Musiikillinen terminologia	Intensiteetti (W/m^2)
Fortefortissimo (<i>fff</i>)	10^{-3}
Fortissimo (<i>ff</i>)	10^{-4}
Forte (<i>f</i>)	10^{-5}
Mezzoforte (<i>mf</i>)	10^{-6}
Piano (<i>p</i>)	10^{-7}

Pianissimo (*pp*) 10^{-8}

Pianopianissimo (*ppp*) 10^{-9}

Jos tarkastellaan logaritmien⁶ (vrt. *log* yllä) yhteyksiä äänessä ja musiikissa, voidaan havaita ainakin neljä laajaa yhteyttä:

1. Äänenvoimakkuus & desibelit (ks. yllä)
2. Ihmisen korvan taajuusvaste (kuullun äänen taajuus (korkeus) vaikuttaa siihen, kuinka voimakkaana kyseinen ääni kuullaan) ilmaistaan usein logaritmisella asteikolla.
3. Pianon koskettimisto on logaritminen.
4. Musiikilliset asteikot ovat logaritmisia.

(Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 92.)

Seisovaksi aalloksi kutsutaan aaltoa, joka syntyy, kun vastakkaisiin suuntiin etenevät aallot interferoivat⁷ keskenään (White & White, 2014). Seisova aalto voi siis syntyä esimerkiksi köyteen, jota heilutellaan molemmista päistä – samankaltaisesti kuin esimerkiksi kielisoittimen kieleen tai puhallinsoittimen sisällä olevaan ilmapatsaaseen. Kieleen vastakkaisiin suuntiin kulkevat aallot syntyvät esimerkiksi sormen näpäyttäessä kieltä – kielen päät ovat kiinni instrumentissa, joten syntyvä värähtely heijastuu kiinnityskohdista takaisin kielen keskikohtaa kohti. Kummastakin suunnasta kimpoavat aallot interferoivat keskenään. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014.)

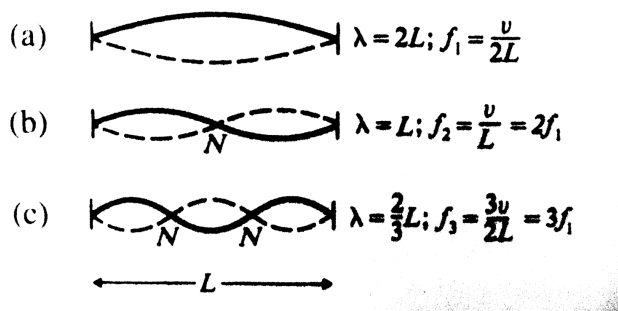
Seisovassa aaltoliikkeessä on paikallaan pysyviä solmuja ja kupuja (White & White, 2014, 24). Solmut ovat kohtia, joissa keskenään interferoivat aallot sammuttavat toisensa kokonaan ja tulosaallon amplitudi siten on nolla ja kuvut puolestaan kohtia, joissa

⁶ Kymmenkantainen logaritmi määritellään seuraavasti: jos jokin luku $x = 10^y$ tällöin $y = \log x$. Matemaatikassa käytetään myös muun kantaisia logaritmeja, mutta akustiikan yhteydessä käytetyt logaritmit ovat lähes aina kymmenkantaisia. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 92–93.)

⁷ Interferenssillä tarkoitetaan aaltojen kohtaamisessa syntyvää yhteisvaikutusta. Aallot voivat vaimentaa tai vahvistaa toisiaan. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014; White & White, 2014.)

aallot voimistavat toisiaan ja amplitudi saavuttaa maksimiarvonsa. Kuvut sijaitsevat solmukohtien puolivälissä. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 49–50.)

Jos siis esimerkiksi soittimen kieli värähtelee vapaasti koko pituudessaan (kuvassa a), kieleen muodostuu yksi kupu ja kieleen syntyvä seisova aalto värähtelee kielen ominaistaajuudella. Syntyvän ääniaallon aallonpituus on tällöin kaksinkertainen kielen pituuteen verrattuna ($2L$). Ensimmäisessä ylävärähtelyssä (b) kielen keskikohtaan syntyy solmu, syntyvän aallon aallonpituus on yhtä suuri kuin kielen pituus (L), värähtelytaajuus kasvaa kaksinkertaiseksi (vrt. taajuuden ja aallonpituuden suhdetta kuvaava kaava) ja soiva ääni on perustaajuuden yläsävelsarjan toinen osäänes eli oktaavia perustaajuutta korkeampi (vrt. 2.2.2). Toisen ylävärähtelyn (c) aallonpituus on $2/3$ värähtelevän kielen pituudesta ja taajuus kolminkertainen. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 66–68.)



Kuva 5. Seisovat aallot. Kuvassa kielen pituutta kuvaa L , aallonpituutta λ , taajuutta f ja äänen nopeutta v . (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 67.)

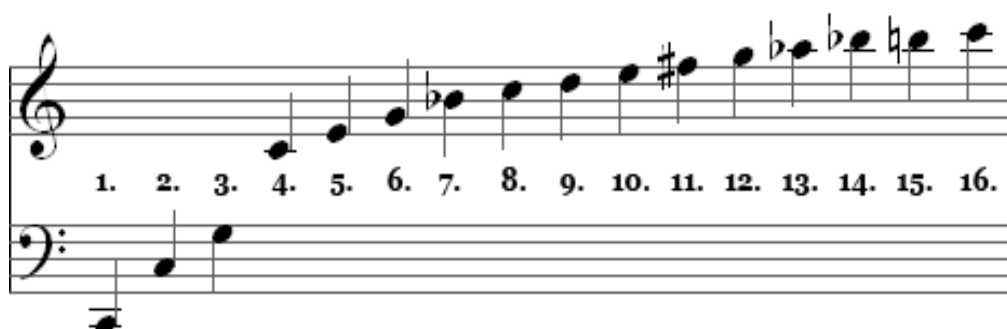
Tämän valossa, jos esimerkiksi basisti painaa basson a-kielestä siten, että kielen soivan osuuden pituudeksi L' jää $2/3$ vapaan a-kielen L pituudesta, aallonpituus λ' on myös $2/3$ alkuperäisestä aallonpituudesta λ ja kielen perustaajuus on tällöin 1,5-kertainen vapaan kielen perustaajuuteen verrattuna. Soiva ääni on siis korkeampi kuin vapaan kielen ääni.

2.2.2 Harmoninen osaaäneistö

Harmoninen osaaäneistö eli yläsävelsarja muodostuu äänen perustaajuuden (f) kokonaislukukerrannaisista⁸ ($2f$, $3f$, $4f$...) ja on siten matemaattisesti kirjoitettavissa. Yläsävelsarjan ensimmäinen osaaänes on perustaajuus f . Toinen äänes on $2f$, joka on oktaavin perustaajuutta korkeampi, kolmas äänes ($3f$) toista äänestä puhdasta kvinttiä korkeampi ja niin edelleen. (Harkleroad, 2006; Joutsenvirta, 2005.) Yläsävelsarjan osaaänesten taajuudet muodostavat matematiikasta tutun aritmeettisen lukujonon⁹, jonka peräkkäisten jäsenten (vrt. tässä tapauksessa osaaänesten) erotus on aina sama (Jyväskylän yliopisto, JYU).

Esim. (ks. kuva 6)

1. $f \approx 65,4$ Hz (sävelenä suuri C)
2. $2f \approx 130,8$ Hz (sävelenä pieni c)
3. $3f \approx 196,2$ Hz (sävelenä pieni g)
4. $4f \approx 261,6$ Hz (sävelenä c1)



Kuva 6. Harmoninen osaaäneistö. (Joutsenvirta, 2005.)

Esimerkiksi eri soittimien tai lauluäänien sointiväri riippuu kyseiselle soittimelle tyypillisestä yläsävelsarjan eri osaaänesten suhteellisesta amplitudista – korostuvat osaaänek-

⁸ Kerrotaan joku luku f jollakin kokonaisluvulla y . Esim. $f = 440$ Hz, $y = 3$

→ $yf = 3f = 3 \times 440$ Hz = 1320 Hz

⁹ Aritmeettisellä lukujonolla tarkoitetaan lukujonoa, jossa minkä tahansa kahden peräkkäisen jäsenen erotus on vakio. Esimerkiksi parilliset luvut (2,4,6 ja niin edelleen) muodostavat aritmeettisen lukujonon, joiden jäsenten välinen erotus on aina 2.

(Jyväskylän yliopisto, JYU.)

set siis vaikuttavat instrumentin sointiväriin. Joskus, varsinkin perkussiosoitinten ollessa kyseessä, yläsävelsarjan ylimmät osaaänekset eivät enää ole perustajuuden tarkkoja kerrannaisia, jolloin ääni koetaan usein epämieluisana tai sävelkorkeudeltaan epäselvä-
nä. (White & White, 2014.) Paitsi sointiväriin, harmoninen osaaäneistö liittyy myös erilaisiin viritysjärjestelmiin (Harkleroad, 2006; Joutsenvirta, 2005), joita avaan seuraavaksi lyhyesti.

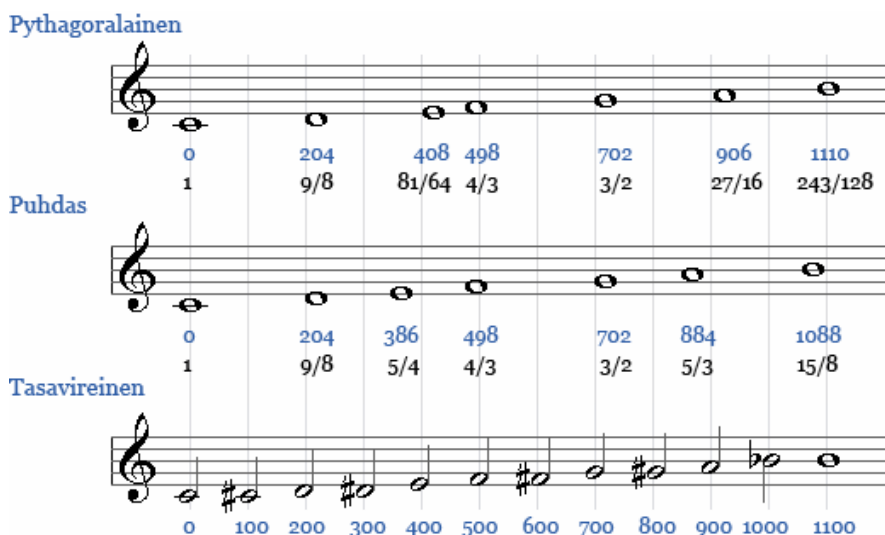
2.2.3 Viritysjärjestelmät

Viritysjärjestelmällä tarkoitetaan matematiikkaan pohjautuvaa tapaa määrätä eri sävel-
ten tarkat sävelkorkeudet ja etäisyydet toisiin asteikon säveliin verrattuna. Jo Pythagoras huomasi, ettei oktaavia (tietyn sävelen taajuuden kaksinkertaistuminen – esimerkiksi 440 Hz ja 880 Hz sävelet ovat oktaavin päässä toisistaan) voida jakaa kahteentoista sä-
velaskeleeseen niin, että kaikki intervallit¹⁰ olisivat puhtaita. Erilaisia kompromissiin
pyrkineitä viritysjärjestelmiä on olemassa siksi lukuisia. (Harkleroad, 2006, 21.)

Alla olevan kuvan siniset luvut kuvaavat senttejä ja mustat suhdelukuja verrattuna kuva-
tun asteikon perussävelen taajuuteen. Senti¹¹ on mikrintervallien mittaamiseen käytet-
ty yksikkö, joka tarkoittaa tasavireisen puoliaskelen sadasosaa. Oktaavi on täten 1 200
sentiä (12 x 100 sentiä) ja tasavireinen kokoaskel voidaan ilmaista 200 senttinä – tasa-
vireisessä viritysjärjestelmässä eri intervallit ovat aina satalukuja (vrt. kuva 7). Eri viri-
tysjärjestelmissä käytettyjen intervallien eroja voidaan vertailla hyvin juuri senttiarvojen
avulla. (Harkleroad, 2006; Joutsenvirta, 2005.)

¹⁰ Intervallilla tarkoitetaan kahden sävelen korkeuseroa suhteessa toisiinsa. Yhden kokosävelaskeleen erotus on nimeltään sekunti, kahden terssi, kolmen kvartti, neljän kvintti, viiden seksti, kuuden septimi ja seitsemän oktaavi. (Harkleroad, 2006.)

¹¹ Yksikkö voidaan ilmaista myös kirjaimella C (englanniksi *cent*, latinaksi *centum*) (Harkleroad, 2006).



Kuva 7. Viritysjärjestelmät. (Joutsenvirta, 2005).

Intervalleja kuvaavat suhdeluvut (vrt. kuvan 7 mustat murtoluvut) voidaan esittää senttiarvoina seuraavan kaavan avulla:

$$\text{Senttiarvo} = \log \frac{a}{b} \times k$$

Jossa $\frac{a}{b}$ on suhdeluku ja k on vakio $1200 / {}^{10}\log 2$. (Joutsenvirta, 2005; White & White, 2014, 178.)

Pythagoralainen viritysjärjestelmä pohjautuu nimensä haltijan (matemaatikko Pythagoras) tavoin Antiikin Kreikkaan. Pythagoralaisessa viritysjärjestelmässä kvartti- ja kvintti-intervallit ovat puhtaita (vrt. esim. kuvan 7 senttiarvot 498 ja 702 verrattuna pohjasäveleen). Tämä tarkoittaa kuitenkin automaattisesti sitä, että terssi- ja seksti-intervallit (vrt. esim. 408 ja 906 verrattuna pohjasäveleen) ovat korkeampia (erotus 22 senttiä kummassakin) kuin puhtaat terssi- ja seksti-intervallit. Jos musiikissa kvinttit ja kvartit ovat suuressa roolissa, kyseinen viritysjärjestelmä toimii kuitenkin hyvin varmistuen niiden harmonisen soinnin. Antiikin Kreikassa musiikki perustuikin paljon juuri kyseisille intervalleille. (Harkleroad, 2006, 23–25.)

Ajan kuluessa musiikki kuitenkin muuttui ja terssien ja sekstien käyttö musiikissa lisääntyi renessanssin aikaan, mikä johti uudenlaiseen kompromissiin ja viritysjärjestelmään. Muusikot alkoivat virittää terssejä ja sekstejä puhtaammiksi, vaikka se olisi tarkoittanut satunnaisesti ei-puhdasta kvarttia tai kvinttiä. Syntynyt puhdas viritysjärjestelmä on suhdeluvuiltaan pythagoralaista selkeämpi, mutta esimerkiksi kaikki kvintti-intervallit eivät säily puhtaina. Esimerkiksi puhtaan viritysjärjestelmän kvintti-intervalli

sävelien d (kuvassa 7 toinen sävel asteikossa) ja a (kuvassa 7 kuudes sävel asteikossa) välillä: erotus senteissä on $884 \text{ C} - 206 \text{ C} = 678 \text{ C}$, kun puhdas kvintti on 702 C . (Harkleroad 2006, 25–27.)

Kuten jo mainittu, nykystandardien mukainen tasavireinen viritysjärjestelmä perustuu tasasatalukuihin senttien suhteen (vrt. kuva 7). Varsinkin musiikin teoreetikot ja instrumenttivistit tapaavat jakaa oktaavin (1200 senttiä) mielellään tasaisiin askelmiin, mikä tarkoittaa, että tasavireinen kvintti-intervalli on 700 senttiä (vrt. puhtaan järjestelmän kvintti 702 senttiä). Kahden sentin ero on hyvin huomaamaton, mutta esimerkiksi tasavireisen järjestelmän mukainen terssi-intervalli on 400 senttiä, kun taas puhdas terssi 386 senttiä – 14 sentin erotus on jo tarkkakorvaisten havaittavissa. Tasavireisessä seksti-intervallissa ero puhtaaseen verrattuna kasvaa 16 senttiin, joka on kuitenkin pienempi ero kuin puhtaan viritysjärjestelmän ajoittainen 24 senttiä tai Pythagoralaisen järjestelmän ajoittainen 22 senttiä. (Harkleroad, 2006, 30.)

2.2.4 Akustiikka

Koska musiikillinen nautinto on subjektiivinen kokemus, myös musiikillisen esityksen arviointi on usein hyvin subjektiivista. Kuitenkin nykytieteen valossa kuullusta voidaan muodostaa objektiivinen kuvaus akustiikan ja äänen tieteeseen liittyvän ymmärryksen avulla seuraavalla tavalla (White & White, 2014, 363):

subjektiivinen kokemus → objektiivinen kuvaus → akustinen suunnittelu

Esimerkiksi konserttitilassa kuulemamme ääni koostuu suorasta äänestä sekä tilan eri pintojen aiheuttamista äänen heijastuksista. Tiloja suunniteltaessa onkin tärkeää ottaa huomioon äänen kaiut, äänen siirtyminen ja sen jakautuminen huonetilan eri osiin. Kun salissa oleva äänilähde hiljenee, ääni menettää energiaansa heijastuksissa ja vaimenee lopulta kuulumattomiin. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014; White & White, 2014.)

Jos (ääni)aalto saavuttaa esteen (rajapinnan) tietyllä nopeudella ja tulokulmalla, se voi kokonaisuudessaan heijastua (*reflection*) rajapinnasta. Jos aallon suunta muuttuu rajapinnassa (esimerkiksi ääniaallot lämpötilallisesti varioivassa ilmakehässä) tapahtumaa kutsutaan taittumiseksi (*refraction*). Jos aaltojen etenemisnopeus pienenee aaltojen ylittäessä rajapinnan, aallot taittuvat normaaliin päin ja aallonpituus pienenee. Jos aaltojen etenemisnopeus kasvaa, aallot taittuvat normaalista poispäin ja aallonpituus kasvaa. Kun aallot kohtaavat esteen (esimerkiksi kapea rako) ja poikkeavat alkuperäisestä suunnastaan,

kutsutaan esteen kohtaamisen aiheuttamaa aaltojen hajaantumista diffraktioksi (*diffraction*). (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 55–57.)

Jälkikaiunta-ajaksi (*reverbation time*) kutsutaan aikaa, jonka kuluessa äänen intensiteetti pienenee miljoonasosaan alkuperäisestä intensiteetistä (White & White, 2014, 360). Ilmiöön vaikuttavat muun muassa huoneen tilavuus ja huoneen pintojen laatu. Esimerkiksi huokoiset materiaalit absorboivat parhaiten korkeita ääniä, kun taas paksumpi pinoite seinissä absorboi matalia taajuuksia. Puheelle luontaisin jälkikaiunta-aika on 0,5–1,0 sekuntia, musiikissa yleisesti hieman pidempi 1,0–1,6 sekuntia ja esimerkiksi sinfoniallisessa musiikissa 1,5–2,0 sekuntia. (White & White, 2014.) Jos jälkikaiunta-aika on liian lyhyt, musiikki koetaan helposti epätäyteläisenä, kun taas jälkikaiunta-ajan ollessa liian pitkä yksittäiset nuotit sekoittuvat toisiinsa aiheuttaen epäselkeyttä (White & White, 2014, 364).

Hyvän akustiikan kriteereiksi nimetään muun muassa:

1. Riittävä äänenkuuluvuus. Kaikkien tilassa olevien tulee kuulla puhujan tai esiintyjän ääni. Tilan ei tule olla liian suuri tai vaimentaa ääntä liikaa.
2. Yhdenmukaisuus. Kaikkien kuulijoiden sijainnista riippumatta tulisi kuulla ääni niin samankaltaisesti kuin mahdollista. Tilassa tulee olla tarpeeksi ääntä heijastavia pintoja, jotta vältetään niin kutsutuilta kuolleilta pisteiltä. Toisaalta esimerkiksi kaikkien orkesterin ääniryhmien ja soittajien tulisi sulautua toisiinsa tasapainoisella tavalla.
3. Selkeys. Tilassa tulee olla tarpeeksi ääntä vaimentavia pintoja, jotta kaiut eivät peitä seuraavia ääniä.
4. Jälkikaiku tai elävyys. Kuulijan tulisi tuntea ”kylpevänsä” äänessä joka puolelta, mutta olla samanaikaisesti kykeneväinen hahmottamaan äänilähteen sijainti. Joskus selkeys ja elävyys ovat vaikeita saavuttaa samassa tilassa.
5. Vapaus kaiuista. Esimerkiksi tilan seinästä heijastuneen äänen tulisi saavuttaa kuulijan korva ajoissa siten, että se vahvistaa suoraa ääntä, muttei kuulosta erilliseltä ääneltä.

(Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 538.)

Kaikki yllä olevat ominaisuudet ovat määriteltävissä tieteellisten periaatteiden avulla – akustiikankin voidaan katsoa pohjautuvan perusmekaniikalle (Rossing, Moore & Wheeler, 2014; White & White, 2014). Kuten kaikessa mekaniikassa, myös akustiikassa on kolme perustavanlaatuaista mittauksen yksikköä: pituus, massa ja aika. Kaikki muu tarvittava voidaan ilmaista näitä apuna käyttäen. (White & White, 2014.)

Esimerkiksi huoneen, jonka kaikki pinnat absorboivat ääntä keskenään samalla tavalla, jälkikaiunta-aika (RT) voidaan laskea kaavalla:

$$RT = K \frac{\text{tilavuus}}{\text{pinta} - \text{ala}}$$

jossa K on vakio. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 534; White & White, 2014, 365.)

Akustiikkaa säädellään saleissa monesti paitsi salin muodolla esimerkiksi myös villakangasverhoilla, uritetuilla seinäpinnoilla sekä liikuteltavien akustiikkaseinien avulla. Myös yleisön sijoittelu ja määrä vaikuttavat akustiikkaan. (White & White, 2014.) Usein tietyn konserttisalin akustiikka on kuitenkin kompromissi, sillä jos se (akustiikka) toimii hyvin 1800-luvun romantiikan orkesteriteoksissa saaden aikaan täyteläisen kuulokuvan, saattaa esimerkiksi jousikvartetin barokkiteos kuulokvaltaan epäselkeä (White & White, 2014, 370).

2.3 Musiikkiteknologia ja matematiikka

Ilman kaiutinjärjestelmiä, elektronisella musiikilla ei olisi ääntä. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 610, suomennettu)

Musiikkiteknologian ala perustuu konsepteille, jotka ovat olleet erillisinä olemassa yli vuosituhannen ajan, mutta jotka on vasta sittemmin osattu yhdistää käytännölliseksi teknologiseksi sovellusalaksi (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 598). Tämä eri alojen yhdisteleminen uudeksi teknologiahaaraksi mahdollistaa nykypäivänä muun muassa ne lukuisat keinot ja tavat, joilla muusikko voi luoda, muokata ja jakaa musiikkiaan (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 610). Esimerkiksi lukio-opetuksen opetussuunnitelmassa korostetaan teknologian hallitsemisen merkitystä nykymaailmassa – siksi myös opetuksen tulisi ohjata opiskelijaa käyttämään tieto- ja viestintäteknologiaa tarkoituksenmukaisesti, vastuullisesti ja turvallisesti itsenäisessä sekä yhteisöllisessä työskentelyssä sekä syventämään ymmärrystään siitä (LOPS, 2019, 58).

Musiikkiteknologian perusajatuksen voidaan katsoa pohjautuvan aina 800-luvun Baghdadiin, jossa joukko opiskelijoita (Banu Musa) ideoi ajatustasolla ”soittimen, joka soittaa itseään” – hydraulisen urun. Moderni musiikkiteknologia sai kuitenkin alkusysäyksensä vuonna 1877, kun Thomas Edison ja Emile Berliner keksivät ensimmäiset äänittämislaitteistot. Ensimmäinen varsinainen elektroninen instrumentti (syntetisaattori) oli Thaddeus Cahillin Dynamophone (Telharmonium) vuodelta 1897. Tieteen alalla noihin aikoihin tapahtuneet edistysaskeleet sähkön ymmärtämisessä johtivat De Forestin mullistavaan Audion-keksintöön (1906), jossa käytettiin ensi kertaa tyhjiöputkea oskillaattorina. Tämä mahdollisti hetkeä myöhemmin seuraavat elektronista musiikkia edelleen kehittäneet keksinnöt, Thereminin (1919) ja Ondes Martenotin (1928). Vuoden 1935 Hammond-urut esittelivät musiikkimaailmalle äänipyörägeneraattorin (laite, joka muuntaa elektronisen moottorin pyörivän liikkeen elektroniseksi säveliksi [*tone wheel*]) ja uruille tyypillisen lepattavan efektin luovan Leslie-kaiuttimen. Transistorin keksiminen vuonna 1947 pienensi elektronisten laitteiden kokoa ja integroidut virtapiirit (1960) sallivat laitteiden monimutkaisuuden eksponentiaalisen kasvamisen laitekoon pienene- misestä huolimatta. Kehitys johti lopulta (1971) siihen, että kokonaiset digitaaliset prosessorit mahtuivat yhteen siruun. Nykyään musiikkiteknologia hyödyntää niin analogi- sia¹² kuin myös digitaalisia¹³ komponentteja. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 611.)

Musiikkiteknologian ala on aina hyödyntänyt paitsi esimerkiksi yllä mainittujen elekt- ronisten teknologioiden kehittymistä myös suhdetta musiikin, matematiikan ja akustii- kan välillä. Mielestäni musiikkiteknologia onkin yksi parhaista aloista kuvaamaan mu- siikin ja matematiikan yhtymäkohtia sekä tarjoamaan eri näkökulmia samoille ilmiöille ja mahdollistamaan ilmiöiden rinnakkaista tutkimista. Tästä johtuen valitsin avata tut- kielmassani myös sellaisia musiikkiteknologian tarjoamia näkökantoja ja sovelluksia, joita voisi helposti hyödyntää esimerkiksi luokkahuoneissa kouluympäristössä.

¹² Analogisella tarkoitetaan reaalista (todellista) äänisignaalia, jota käsitellään sähköisesti (Rossing, Moo- re & Wheeler, 2014.)

¹³ Digitaalisella tarkoitetaan binääristä (koostuu numeroista 0 ja 1) äänisignaalia (Rossing, Moore & Wheeler, 2014.)

2.3.1 Äänisynteesi

Äänisynteessillä tarkoitetaan sähköistä äänentuottamistapaa. Kun aaltoja (värähtelyjä) tuotetaan sähköisesti, niitä voidaan edelleen käsitellä esimerkiksi suodattamalla tai vahvistamalla haluttuja taajuuksia, yhdistämällä erilaisia elektronisia aaltomuotoja tai muokkaamalla alkuperäistä aaltoa erilaisin efektilaittein (vrt. esimerkiksi erilaiset kaiut ja viiveet äänessä). Äänisynteesimenetelmät voidaan jakaa analogisiin ja digitaalisiin (ks. 2.3). (Collins, 2008; Rossing, Moore & Wheeler, 2014.)

Erilaisia aaltomuotoja ja niiden yhdistelmiä on olemassa rajattomasti, mutta perusäänisynteessissä käytetyimmät ovat (ks. liite 3):

1. Siniaalto

Siniaalto värähtelee ainoastaan perustaajuudellaan – sillä ei ole yläsäveliä. Tästä johtuen ääni kuulostaa ihmiskorvaan hyvin ”puhtaalta”. Esimerkiksi pelien äänimaailmassa tätä ”puhtaalta” kuulostavaa aaltomuotoa on käytetty muun muassa huilun kaltaisena instrumenttina ja laser-efektinä. (Collins, 2008.) Siniaaltoja voidaan kuvata lukion matematiikan oppimäärissäkin esiteltävän sinifunktion¹⁴ avulla (Wright, 2009).

2. Kolmioaalto

Kolmioaallon yläsävelsarja sisältää ainoastaan parittomia osaaäneskerrannaisia. Kuulokuvultaan kolmioaalto ei juurikaan eroa siniaallosta, ja pelimaailmassa sitä käytetään usein bassoraidoissa. Vaikka parittomat osaaäneskerrannaiset ovat myös kanttiaallon ominaisuus, kolmioaalto kuulostaa erilaiselta (”silkkisemmältä”), sillä osaaänen soinnin kesto on lyhyempi. (Collins, 2008.)

3. Kanttiaalto

Kanttiaalto on äänenväriältään rikkaampi verrattuna kolmio- ja siniaaltoon. Se sisältää ainoastaan parittomia osaaänikerrannaisia. Kanttiaalto kuulostaa ontolta ja kumealta, ja sitä edelleen muuntelemalla aalto saadaan kuulostamaan käheämmältä ja paksummalta. (Collins 2008, 18.) Pelien äänimaailmassa kanttiaaltoa on käytetty sekä melodia- että säestysinstrumenttina. (Collins, 2008.)

¹⁴ $f(x) = \sin x$ (Wright, 2009).

4. Saha-aalto

Saha-aalto muistuttaa muodoltaan sahan hampaita ja on kuulokuvaltaan läpitunkeva. Sen yläsävelsarja sisältää sekä parillisia että parittomia osaaäneskerrannaisia. Saha-aaltoa käytetään esimerkiksi bassoraidoissa niin elektronisessa musiikissa kuin esimerkiksi peleissä. (Collins, 2008.)

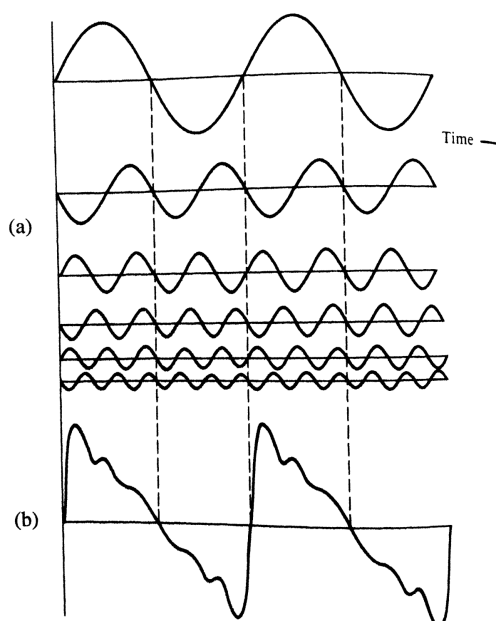
5. Kohina

Valkoinen kohina on ääntä, joka koostuu kaikista ihmisen kuuloalueeseen kuuluvista taajuuksista. Valkoinen kohina kuulostaa ihmisen korviin raastavalta ja kireältä, sillä vaikka äänessä on mukana kaikkia taajuuksia, ihmiskorva aistii korkeammat taajuudet matalia herkemmin. Vaaleanpunainen kohina on ihmiskorvalle miellyttävämpi kohinavariaatio – siinä yläsävelsarjan taajuudet ovat jakautuneet siten, että korkeammat taajuudet soivat matalampia pienemmällä äänenvoimakkuudella. Peleissä kohinaa on käytetty lähinnä ääniefekteinä (vrt. esim. sateen kohina, tuulen ääni, laseraseen ääni) ja rytmisoittimina. (Collins, 2008.)

Eri aaltomuotojen yllä lyhyesti tiivistetyt äänenvärien erot johtuvat äänen spektristä eli siitä, missä suhteessa tietyn sävelen perustaajuuden yläsävelsarjan osaaänekset kuuluvat (vrt. luku 2.2.2). Esimerkiksi kanttiaallossa ainoastaan parittomat osaaäneskerrannaiset kuuluvat äänen kuulokuvassa. Jos kanttiaallon perustaajuus on siis f ja amplitudi A , muilla äänen kuulokuvassa soivilla osaaäneksillä on taajuudet $3f$, $5f$, $7f$ (jne.) ja osaaänestien amplitudit pienenevät suhteessa $A/3$, $A/5$, $A/7$ (jne.). Kolmioaallossa amplitudit taas esimerkiksi noudattavat kaavaa A , $A/9$, $A/25$ (jne.). Saha-aallon spektrissä esiintyvät parittomien kerrannaisten lisäksi myös parilliset osaaänikerrannaiset (vrt. esim. $2f$, $4f$ jne.) ja amplitudi pienenee suhteessa A , $A/2$, $A/3$ (jne.). Kyseiset erot spektreissä aikaansaavat erot kunkin aaltomuodon (ja niiden yhdistelmien) äänenväriässä. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 140–142.)

Fourierin analyysiksi kutsutaan matemaattista konseptia, jossa mistä tahansa (kuinka kompleksisesta tahansa) jaksollisesta värähtelystä voidaan tietyt (osaaänestien) amplitudit ja vaiheet valitsemalla luoda sarja yksinkertaisia värähtelyjä, joiden taajuudet ovat perustaajuuden osaaäneksiä. Tätä hyödynnetään myös äänisynteesissä eri kompleksisten aaltomuotojen (ks. aallot yllä) luomisen yhteydessä (Fourierin synteesi). Kuten todettu, saha-aallon spektrissä esiintyvät parittomat ja parilliset osaaänet, joten aallon ensimmäiset kuusi osaaänestä ovat f , $2f$, $3f$, $4f$, $5f$ ja $6f$, ja niiden amplitudit A , $A/2$, $A/3$, $A/4$, $A/5$ ja

A/6. Alla oleva kuva 8 havainnollistaa, miten kuudesta ensimmäisestä osäänekestä (a) saadaan yksi summasaha-aalto (b). (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 141–142.)



Kuva 8. Havainnollistus saha-aallon muodostumisesta. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 142.)

Äänisynteesiin perustuu siis muun muassa monesta koulun musiikkiluokastakin löytyvien syntetisaattoreiden (”syntikoiden”) toiminta. Lisäksi äänisynteesi tarjoaa mahdollisuuksia eri aaltomuotojen matemaattisten työkalujen esittelyihin, esimerkiksi sinifunktioiden mallintamiseen (vrt. siniaalto) tai matemaattisesti haastavampiin Fourier-muunnoksiin.

2.3.2 Sähkö(magnetismi) ja musiikkiteknologia

Valitsin nostaa esille lyhyesti myös sähkö ja sähkömagnetismin ilmiöinä musiikkiteknologian – erityisesti musiikkiteknologisten laitteiden, kuten instrumenttivahvistimien ja mikrofoniin – näkökulmasta. Koen, että myös tässä on kouluympäristöön sopiva musiikin ja matematiikan yhtymäkohta, sillä esimerkiksi koululuokassa tapahtuva bändisoitto mahdollistuu näiden sähkölaitteiden ansiosta ja syvällisemmällä tasolla vaatii ymmärrystä myös sähköopin näkökulmasta.

Sähkövirta (SI-järjestelmän¹⁵ mukainen tunnus I ja yksikkö ampeeri [A]) on kiinteissä aineissa ja sähkönjohteissa yleensä elektronien liikettä, kaasuissa ja nesteissä tämän lisäksi ionien liikettä. Koska sähkövirran suunta sovittiin ennen elektronin löytymistä, suunta on sovittu ”virheellisesti” siten, että sähkövirta kulkee plusnavasta miinusnapaan. Sähkövirta on tasavirtaa (DC, *direct current*), jos sen suunta ei muutu virtapiirissä, ja vaihtovirtaa (AC, *alternating current*), jos sähkövirran suunta vaihtuu jaksollisesti (vrt. verkkovirta). Jännitteeksi (SI-järjestelmän mukainen tunnus U ja yksikkö voltti [V]) kutsutaan esimerkiksi pariston napojen välistä varauseroa. Virtapiirissä on oltava jännitelähde, jotta siinä kulkisi sähkövirta. (Chabay & Sherwood, 2015; Rossing, Moore & Wheeler, 2014.)

Saksalaisen fyysikon Georg Ohmin mukaan nimetyn Ohmin lain mukaan esimerkiksi metallilangan jännitehäviö (U) on suoraan verrannollinen langassa kulkevaan sähkövirtaan (I), mikäli lämpötila on vakio. Tätä kuvaa kaava:

$$U = RI$$

jossa R on langan resistanssi eli vastus (yksikkö ohmi eli Ω). Vastus on virtapiirissä sähkövirtaa rajoittava komponentti. Yllä olevasta kaavasta resistanssin laskemiseksi voidaankin johtaa:

$$R = \frac{U}{I}$$

(Chabay & Sherwood, 2015; Rossing, Moore & Wheeler, 2014.) Toisaalta resistanssi riippuu vastusmateriaalin ominaisuuksista sekä vastuksen geometrisistä ominaisuuksista (Chabay & Sherwood, 2015, 773):

$$R = \frac{L}{\sigma A}$$

jossa L on vastuksen pituus, A vastuksen poikkileikkauksellinen pinta-ala ja σ vastusmateriaalin sähkönjohtavuus.

¹⁵ Ranskassa alettiin käyttää metrijärjestelmää 1790-luvulla. Siitä on myöhemmin kehittynyt kansainvälinen mittajärjestelmä (SI-järjestelmä [*Système International*]), jota edelleen vuonna 1960 laajennettiin ja täsmennettiin. Täsmennestyön jälkeen kansainvälinen konferenssi antoi suosituksen, että kaikki maat alkaisivat käyttää SI-järjestelmää. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014.)

Vastaavasti vaihtovirtapiirissä olevaa vastusta kutsutaan impedanssiksi (SI-järjestelmän mukainen tunnus Z ja yksikkö resistanssin tavoin ohmi Ω). Impedanssia voidaan kuvata kaavalla:

$$Z = \frac{U}{I}$$

jossa U on vaihtojännitteen tehollinen arvo ja I vaihtovirran tehollinen arvo. Tehollisella arvolla tarkoitetaan arvoa, joka on yhtä suuri sellaisen tasavirran arvon kanssa, joka synnyttää yhtä paljon lämpöenergiaa vastuksessa kuin kyseinen vaihtovirta. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 404–405; White & White, 2014, 267.) Musiikkiteknologian näkökulmasta impedanssi on tärkeä erilaisissa (turvallisissa ja toimivissa) kytkennöissä. Esimerkiksi äänenlaadun kannalta on tärkeää kytkeä lähtöimpedanssi noin 7–10 kertaa isompaan tuloimpedanssiin – esimerkiksi mikrofoni (dynaaminen, impedanssiltaan 100Ω) mikrofonetuvahvistimeen, jonka impedanssi on $700\text{--}1000\Omega$. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014; White & White, 2014.)

Kondensaattoriksi kutsutaan laajalti sähkötekniikan alalla käytettyä komponenttia, joka koostuu kahdesta lähekkäin olevasta yhtä suuret vastakkaismerkkiset varaukset omaavasta johdekappaleesta sekä kappaleiden välissä olevasta eristekerroksesta. Kondensaattori voidaan varata (ladata) jännitelähteen avulla. Yksinkertaisin kondensaattori on levykondensaattori. Kokonaisuudessaan kondensaattori on sähköisesti neutraali – kun levykondensaattorin toisella levyllä on positiivinen varaus, toisella on negatiivinen varaus. Varaukset ovat keskenään yhtä suuret (mutta vastakkaiset) ja näin kumoavat toisensa. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014.)

Kondensaattorin varauksen (yhden levyn varauksen itseisarvo Q) ja jännitteen suhdetta kutsutaan kapasitanssiksi (SI-järjestelmän mukainen tunnus C ja yksikkö faradi [F]) ja se voidaan näin ollen esittää seuraavasti:

$$C = \frac{Q}{U}$$

(Rossing, Moore & Wheeler, 2014; White & White, 2014, 299.) Muun muassa kondensaattorimikrofonit perustuvat kyseisen komponentin toiminnalle (White & White, 2014, 299).

Tanskalainen fyysikko ja kemisti Hans Christian Ørsted havaitsi vuonna 1820, että sähköjohtimessa kulkeva sähkövirta aiheuttaa johtimen ympärille magneettikentän: sähköisyys on yksi sähkömagneettisuuden ilmenemismuodoista, magneettisuus on toinen (Rossing, Moore & Wheeler, 2014). Magneettinen vuorovaikutus on etävuorovaikutus (vuorovaikuttavien kappaleiden ei tarvitse olla kosketuksissa toistensa kanssa) ja ilmenee joko veto- tai hylkimisvoimana. Magneetilla on kaksi kohtiota, pohjois- ja eteläkohtio, joista samannimiset kohtiot hylkivät toisiaan ja erinimiset vetävät toisiaan puoleensa. (Chabay & Sherwood, 2015.)

Monien sähkölaitteiden, muun muassa kaiuttimien, sisällä on magneetti. Kaiuttimessa olevat kestmagneetti (magneetti, jonka magneettisuus säilyy vuosia) ja sähkömagneetti (magneetti, jonka magneettisuutta voidaan säädellä) vuoroin vetävät toisiaan puoleensa ja vuoroin hylkivät toisiaan. Tämä vaihtelu aiheuttaa kaiuttimen kalvon värähtelyn, joka edelleen kuuluu äänenä. Sähkömagneettina esimerkiksi kaiuttimessa toimii käämi, joka syntyy, kun virtajohdinta kierretään useita kierroksia silmukaksi ja kun käämiin sen jälkeen kytketään tasajännite. Saadun sähkömagneetin voimakkuus on sitä suurempi, mitä enemmän käämissä on johtimella tehtyjä kierroksia ja mitä suurempi siinä kulkeva sähkövirta on. Myös muun muassa dynaamisten mikrofonien (vrt. esim. useimmista koululuokista löytyvä Shure58-mikrofoni) toiminta sekä sähkökitaroiden äänentoisto perustuvat sähkömagnetismille. (Rossing, Moore & Wheeler, 2014; White & White, 2014.)

2.3.3 Sovelluksia kouluympäristössä

Tässä aluvuossa käsittelemme lyhyesti yllä olevasta teoriasta kumpuavia musiikkiteknologian alan sovelluksia, jotka olisivat mielestäni tärkeitä huomioida musiikin ja matematiikan integroimisen tarjoamien mahdollisuuksien yhteydessä kouluympäristöissäkin.

Modulaarisyntetisaattorit

Perinteisillä instrumenteilla on tietyt ominaisuudet, jotka määrittelevät kyseisen soittimen soitannolliset piirteet. Elektroniikka puolestaan mahdollistaa laaja-alaista joustavuutta – säveltäjä voi keskittyä siihen, mitä haluaa ilman, että tarvitsee miettiä, mitä soittimia on saatavilla. Joustavuus perustuu pitkälti modulaarisyntetisaattorille eli laitteelle, jonka toiminta perustuu yllä avatulle äänisynteesille. (White & White, 2014, 331.)

Modulaarisyntetisaattorin toiminta perustuu erilaisten moduuleiden toimintaan, joita voidaan yhdistellä keskenään halutulla tavalla käyttäen apuna kytkimiä, yhdysjohtimia tai tietokonetta. Syntetisaattorin oskillaattori tai aaltogeneraattorit tuottavat laajan valikoiman perusaaltomuotoja (esim. liite 3), joita voidaan edelleen kontrolloida monilla eri tavoilla. Esimerkiksi siniaaltoja voidaan edelleen muokata määrittelemällä sen aloitus (*attack*), päästö (*sustain*), pito (*decay*) ja vapautus (*release*). Jokaista säveltä voidaan edelleen hallita nappien, kytkimien tai koskettimien avulla. Lopuksi ääni voidaan johtaa jonkin filterin läpi, jonka avulla ääneen voidaan lisätä esimerkiksi tremoloefekti tai kaikua. (White & White, 2014, 332.)

Koululuokasta löytyviä, näitä musiikin ja matematiikan yhtymäpintojen tutkimista mahdollistavia modulaarisyntetisaattoreita voivat olla esimerkiksi Moogin erilaiset syntetisaattorit ja Korg MS-20 Mini.

Musiikin äänittäminen ja tietokonemusiikki

Nykyteknologia tarjoaa useita erilaisia keinoja sekä äänen toistamiseen, tuottamiseen että äänittämiseen (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 522). Tietokoneita on käytetty osana musiikkia 1950-luvun lopusta asti, ja tietokoneen (lasku)nopeus on hyödyttänyt alaa monin tavoin (White & White, 2014, 334). Koko ajan kasvavan laadukkaan tietokonesovellusmäärän vuoksi tietokoneesta on tullut yksi elintärkeä työväline muusikolle (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 484).

Tietokoneen laskutoimituksille perustuvaa sekvenssiä, joka toistaa itseään, kutsutaan äänisilmukaksi (*loop*). Jos tietokone on esimerkiksi ohjelmoitu siten, että yksittäinen äänisilmukka kestää 1/440 sekuntia, toistuu äänisilmukka sekunnissa 440 kertaa. Jos radiovastaanotin olisi tietokoneen lähellä, toistaisi se yhden sekunnin kestävän 440 hertsin taajuuksisen sävelen (a^1). Ohjelmoimalla tietokonetta voidaan siis tuottaa yksittäisiä ääniä ja laajempia sävellyksiä, nuotti nuotilta. (White & White, 2014, 334.)

Monet musiikkiohjelmat ovat tarjolla myös kotimusiikoille, jotka käyttävät PC- tai Macintosh-tietokonetta. Yksi tärkeimmistä ohjelmista on sekvensseri (*sequencer*), jota voidaan käyttää monen raidan äänittämiseen (moniraitaäänitys) – esimerkiksi orkesterin partituurin voi äänittää ohjelmaan yksi raita kerrallaan, jonka jälkeen sen voi soittaa kokonaisuutena. Raitojen ominaisuuksia, esimerkiksi tempoa tai sävellajia, voi muuttaa myös jälkikäteen. Nuotinosohjelmat (mm. Sibelius, Finale) ovat ikään kuin tekstinkäsittelyohjelmia musiikille: niillä voidaan kirjoittaa nuottikirjoitusta ja musiikissa esiin-

tyviä symboleja sekä toistaa kirjoitettua nuotinnosta äänikorttiominaisuuksien avulla. Olemassa on myös useita musiikin säveltämiseen ja musiikinteoriaan liittyviä tietokoneohjelmia sekä ohjelmia, joiden avulla voidaan luoda ja varastoida erilaisia soundeja (*patch editor*). (Rossing, Moore & Wheeler, 2014, 484.)

iPadillakin toimiva GarageBand on yksi toimivimmista musiikin tekemisen ja äänittämisen sovelluksista nimenomaan kouluympäristössä (Riley, 2015). Ominaisuuksiltaan laajempia ja siten koulukäyttöön astetta haastavampia muita sekvenssereitä ovat esimerkiksi Logic Pro ja ProTools.

3 Motivaatio oppimisessa

Motivaatiota voidaan pitää yhtenä keskeisimmistä ihmisen käyttäytymisen ilmiöistä – se auttaa selittämään ja ymmärtämään ihmisen toimintaa. Käsitteenä motivaatio on moniulotteinen, ja sitä voidaan tarkastella useasta eri näkökulmasta. (Bekerian & Levey 2005, 216.) Motivaatio voi toimia ärsykkeenä, joka johtaa tiettyyn käyttäytymiseen (Bekerian & Levey 2005, 216) ja toisaalta selittää, kuinka paljon yksilö näkee vaivaa saavuttaakseen tavoitteensa (Duda & Treasure 2006, 57).

Yhdysvaltalaisen tutkijan Martin E. Fordin mukaan motivaatio koostuu kolmesta eri osa-alueesta: tavoitteista, tunteista ja minäpystyvyydestä. Ihminen pyrkii jatkuvasti johonkin tavoitteeseen. Tehokkaimmin ihminen saavuttaa sellaiset omien arvojensa ja kiinnostuksenkohteidensa mukaiset tavoitteensa, jotka hän on asettanut itse itselleen ja joihin hän on siksi sitoutunut (vrt. sisäinen motivaatio, luku 3.1). Myönteiset tunteet, jotka kannustavat jatkamiseen, antavat viestiä siitä, että tavoitetta lähestytään, kun taas kielteiset kertovat tavoitteen karkaamisesta kauemmaksi. Kielteiset tunteet voivat joko lannistaa tai toisaalta sisuuntumisen kautta saada jatkamaan etenemistä kohti tavoitetta. Syntyvät tunteet perustuvat ympäristön kanssa vuorovaikutuksessa olemiseen, minkä johdosta ympäristön tuen merkitys on ehdoton. Fordin mallin kolmas kohta, minäpystyvyys, kuvaa sitä, kuinka voimakkaasti yksilö uskoo mahdollisuuksiinsa ja kykyihinsä saavuttaa tavoite. (Ford, 1992.)

Vaikka motivaation merkitystä suhteessa oppimiseen on tutkittu jo vuosikymmenien ajan, kiinnostus tutkimusta kohtaan on kasvanut vasta viime vuosina – on huomattu, että monet oppimista edistävät keinot ovat tehokkaita ainoastaan silloin, kun oppija on motivoitunut opetustilanteessa (Nurmi, 2013, 548). Tästä syystä motivaation huomioiminen mahdollisimman toimivan teoreettisen integrointimallin luomisen yhteydessä on mielestäni tutkielmassani erittäin tärkeää. Tässä luvussa avaan kyseistä käsitettä erityisesti oppimiskontekstin ja siten kouluympäristön näkökulmasta. Koen tutkielmani kannalta tärkeänä eritellä, mitkä eri tekijät vaikuttavat oppijan motivaatioon, miten kyseisiä tekijöitä voi kouluympäristössä ottaa huomioon sekä sitä, miten motivaatio vaikuttaa oppimiseen.

3.1 Motivaatiojatkumo – sisäinen ja ulkoinen motivaatio

Motivaation voidaan siis katsoa pitävän sisällään muun muassa käsitteet energia, suunta, periksiantamattomuus ja samantavoitteisuus, jotka kaikki ovat yksilön aktivoimisen ja aikomuksen eri puolia. Motivaation katsotaan kuitenkin todellisessa elämässä olevan korkeassa arvossa etenkin, koska se (motivaatio) on tuottavaa. Samalla tiedetään, että ihmisiä liikuttavat ja motivoivat hyvinkin erilaiset asiat ja tekijät, joilla jokaisella on erilaiset syyt ja seuraukset. (Ryan & Deci, 2000.)

Motivaatio voidaankin karkeasti tarkasteltuna jakaa sisäiseen ja ulkoiseen motivaatioon (Deci & Ryan, 2000). Sisäinen motivaatio on lähtöisin henkilöstä itsestään – hän haluaa tehdä jotakin, koska tekeminen itsessään on palkitsevaa, innostavaa ja/tai kiinnostavaa. Ulkoisella motivaatiolla puolestaan tarkoitetaan sitä, että yksilö tekee jotain tai on kiinnostunut tekemään jotakin sosiaalisen ympäristön ja muiden henkilöiden halun takia – tekeminen on palkitsevaa ainoastaan ulkoisten palkintojen vuoksi. Näistä juuri sisäisen motivaation on koettu olevan tärkeää tekijä oppimisen yhteydessä ja johtavan luovaan ja laadukkaaseen oppimiseen sekä sinnikkääseen yrittämiseen. (Deci & Ryan, 1985, Nurmen, 2013, 549, mukaan.)

Decin ja Ryanin vuonna 1985 luoma itsemääräämisteoria (*self-determination theory*) kuitenkin korostaa, että jaottelu pelkästään sisäiseen ja ulkoiseen motivaatioon on riittämätön. Lisäksi teoria painottaa sitä, että motivaatio on herkkä sosiaalisesta ympäristöstä kumpuaville vaikutteille. (Deci & Ryan 2000). Vielä tarkemmin tätä motivaatiojatkumoa, jonka motivaation eri ulottuvuudet yhdessä muodostavat, voidaankin eritellä muun muassa seuraavasti (Deci & Ryan, 2000, 237):

Amotivaatio (motivaation puute)

Amotivaatiossa käyttäytymisen säätelyn muotoja ei ole säädelty. Toimintaan johtavan motiivin sijainti on persoonaton ja motivaation autonomisuuden taso on amotivoitunut (motivaatiota ei ole). (Deci & Ryan, 2000.)

Ulkoinen motivaatio

Ulkoisessa motivaatiossa käyttäytymisen säätelyä voidaan toteuttaa (1) *ulkoisella säätelyllä*, (2) *pakotetulla säätelyllä*, (3) *identifioidulla säätelyllä* tai (4) *integroidulla säätelyllä*. Ulkoisen säätelyn tapauksessa motiivin sijainti on ulkoinen, pakotetussa ja iden-

tifioidussa säätelyssä jokseenkin ulkoinen ja integroidussa säätelyssä sisäinen. Ulkoisen ja pakotetun säätelyn tapauksessa motivaation autonomisuuden taso on enemmän kontrolloitu, kun taas identifioidun ja integroidun säätelyn tapauksessa enemmän autonominen. (Deci & Ryan, 2000.)

Sisäinen motivaatio

Sisäisen motivaation tapauksessa säätely on sisäistä, motiivin sijainti on sisäinen ja motivaatio on täysin autonomista. (Deci & Ryan, 2000.)

Ulkoiseen motivaatioon yhdistetty *identifioitu säätely* kuvaa prosessia, jossa ihminen tunnistaa ja hyväksyy ulkoisia arvoja tietyn käyttäytymisen perustana. Tässä tapauksessa ihminen siis identifioi itsensä tietyn käyttäytymisen arvoon ja siten hyväksyy sen (käyttäytymisen) ikään kuin omana valintanaan. Identifioitu säätely on siis jo hieman kontrolloimattomampaa kuin esimerkiksi ulkoiseen ja pakotettuun säätelyyn liittyvä käyttäytyminen. *Integroitu säätely* on ulkoisen motivaation autonomisin ilmentymä, jossa ulkoinen motivaatiotekijä integroituu ihmisen omiin tärkeisiin arvoihin ja identifioidaan. (Deci & Ryan 2000.)

Deci & Ryan (2000) kokoavat, kuinka motivaation puute (amotivaatio) on useiden tutkimusten ja teorioiden perusteella nähty oppimisen kannalta haitalliseksi tekijäksi. Tärkeää on kuitenkin tunnistaa erot myös autonomisen ja kontrolloidun motivaation välillä. Kun motivaatio on autonomista seuraukset ovat yksilön käyttäytymisen, terveyden ja hyvinvoinnin kannalta positiivisempia kuin kontrolloidun motivaation tapauksessa. (Deci & Ryan, 2000, 243.)

3.1 Motivaatio kouluympäristössä

Artikkelissa *Motivaation merkitys oppimisessa* (Nurmi, 2013, 552) kootaan yhteen oppimismotivaatiota kuvaava malli pohjanaan lukuiset eri teoriat motivaatiosta nimenomaan oppimisympäristöissä. Prosessin päävaiheet ovat:

1. Taustatekijät (palaute oppimistuloksista, minäkäsitys)
2. Ennakointi (kiinnostukset, ennakointi, ennakoivat tunteet)
3. Tehtävä (toiminta, suoriutumistunteet)
4. Arviointi (syypäätelmät, arvioivat tunteet)

(Nurmi, 2013, 552.)

Taustatekijöihin kuuluvat palaute aiemmista samankaltaisista oppimistilanteista ja oppimistuloksista sekä sitä kautta alati muuttuva oppilaan oma minäkäsitys. Ennakointivaiheella tarkoitetaan oppilaan omia kiinnostuksenkohteita (esim. kiinnostaako kyseinen oppiaine vai ei), ennakoiteja (vrt. tulenko onnistumaan vai epäonnistumaan) sekä ennakoivia tunteita (vrt. esim. toivo, ilo). Oppilas on esimerkiksi tyypillisimmin kiinnostuneempi sellaisista tehtävistä, jotka hän on aiemminkin osannut ratkaista. (Nurmi, 2013, 552.)

Ennakoinnit, ennakoivat tunteet ja kiinnostuksen kohteet heijastuvat siinä, miten oppilas toimii itse oppimistilanteessa (vrt. prosessin tehtävävaihe) ja millaisia tunteita oppimistilanne hänessä herättää. Oppimistehtävän onnistumisen kannalta keskeistä on muun muassa se, kuinka hyvin oppilas tehtävään keskittyy, kuinka paljon hän on valmis tekemään töitä sen ratkaisemiseksi ja kuinka paljon hän on suunnitellut erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja. Tehtävän onnistumisen kannalta tärkeää on lisäksi tehtävän palkitsevuus sekä se, ettei tehtävän ratkaisemiseen liity kielteisiä tunteita (esim. ahdistuneisuus, kylästyneisyys). (Nurmi, 2013, 552.)

Oppilaan saadessa palautetta tehtävässä menestymisestään (vrt. prosessin arviointikohta) hän voi arvioida itse siihen johtaneita ja vaikuttaneita syitä. Onnistumistilanteessa – etenkin jos oppilas kokee onnistumisen johtuneen omista kyvyistä ja yrityksestä (vrt. syypäätelmät) – ilmenee usein ylpeyden tunnetta, mikä vahvistaa edelleen oppilaan positiivista minäkuvaa. Jos oppilas kokee epäonnistuneensa ja ajattelee sen johtuvan kykyjen puutteesta, johtaa tilanne usein muun muassa häpeään ja negatiivisen minäkuvan vahvistumiseen. Väliaikaisesti tätä kielteistä palautetta voi lieventää, jos kokee epäonnistumisen syynä olleen esimerkiksi toiseen asiaan keskittymisen (vrt. ”jos olisin keskittynyt itse tehtävään, olisin voinut onnistua”). Oppimisen lopputulos ja oppilaan oma arvio tuloksesta vaikuttavat edelleen oppilaan minäkäsitykseen eli seuraavan samankaltaisen oppimistilanteen taustatekijöihin. (Nurmi, 2013, 552.)

Artikkelissa *A Motivational Science Perspective on the Role of Student Motivation in Learning and Teaching Contexts* (Pintrich, 2003) koulukontekstissa tapahtuvan motivaatiotutkimuksen kannalta oleellisia kysymyksiä ajatellaan olevan motivaatioon keskittyvän kirjallisuuden perusteella seitsemän:

1. Mitä oppilas haluaa?
2. Mikä motivoi oppilasta luokkahuoneessa?
3. Kuinka oppilas saavuttaa haluamansa?
4. Tietääkö oppilas, mikä häntä motivoi tai mitä hän haluaa?
5. Miten motivaatio johtaa kognitioon ja kognitio motivaatioon?
6. Miten motivaatio muuttuu ja kehittyy?
7. Mikä on kontekstin ja kulttuurin rooli motivaatiossa?

Näistä kysymyksistä toinen (*mikä motivoi oppilasta luokkahuoneessa?*) on erityisen oleellinen ja konkreettinen motivaatiosidonnainen kysymys juuri tutkielmani kannalta, sillä luon teoreettista mallia nimenomaan kouluympäristöön. Pintrich (2003, 672) avaa-kin kysymystä edelleen jaottelulla, jossa *motivaatioon vaikuttava tekijä* kertoo jonkin motivaatiokirjallisuudessa laajalti tutkitun, esitetyn ja käsitellyn väittämän jostakin motivaatioon vaikuttavasta tekijästä ja *toteutus luokkahuoneessa* tarjoaa sen ideaalille toteuttamiselle ehdotuksia.

Motivaatioon vaikuttava tekijä	Toteutus luokkahuoneessa
Adaptiivinen minäpystyvyys ja myönteiset käsitykset omasta pätevydestä motivoivat oppilaita.	<p>Tarjoa selkeää ja tarkkaa palautetta oppilaan minäpystyvyydestä ja pätevydestä keskittyen pystyvyyden, pätevyden ja ammattitaidon kehittämiseen.</p> <p>Suunnittele tehtäviä, jotka tarjoavat mahdollisuuksia onnistua ja toisaalta haastavat oppilaita.</p>
Adaptiivinen tunne osallistumisesta ja kontrollista motivoi oppilaita.	<p>Anna palautetta, joka painottaa oppimisen luonnetta – vaivannäön, oppimisstrategioiden ja itsekurin merkitystä oppimisessä.</p> <p>Tarjoa mahdollisuuksia oppilaiden omaan valintaan ja kontrolliin.</p> <p>Pyri rakentamaan kannustavia ja välittäviä henkilökohtaisia suhteita oppilaiden yhteisössä luokkahuoneessa.</p>
Korkeat kiinnostuksen tasot ja opettavien asioiden oleellisuus/luonnollisuus motivoivat oppilaita.	<p>Tarjoa stimuloivia ja kiinnostavia tehtäviä, aktiviteetteja ja materiaaleja, jotka uudistuvat ja varioivat jonkin verran.</p> <p>Tarjoa materiaalia, joka on merkityksellistä ja innostavaa oppilaiden mielestä.</p> <p>Esittele ja mallinna tätä kiinnostavuutta oppisisällössä ja tehtävissä.</p>
Korkeat arvo- ja arvostustasot motivoivat oppilaita.	<p>Tarjoa tehtäviä, materiaalia ja toimintaa, jotka ovat oppilaiden näkökulmasta oleellisia ja käyttökelpoisia (jotka korostavat henkilökohtaisen maailman ja koulun yhtymäkohtia).</p> <p>Luokkahuoneessa käydyn keskustelun tulisi keskittyä opittavien asioiden tärkeyteen ja käyttökelpoisuuteen.</p>
Tavoitteet motivoivat ja ohjaavat oppilaita.	<p>Käytä hallintorakenteita, jotka rohkaisevat oppilaitakin henkilökohtaiseen ja yhteisölliseen vastuunkantoon ja luovat turvaa, mukavuutta ja ennustettavuutta ympäristöön.</p> <p>Suosi yhteistoiminnallisia ja yhteistyöhön perustuvia ryhmätehtäviä, jotka mahdollistavat sekä akateemisten että sosiaalisten tavoitteiden saavuttamisen.</p> <p>Luokkahuoneessa käydyn keskustelun tulisi keskittyä oppitunnin sisällön hallintaan, oppimiseen ja ymmärtämiseen.</p> <p>Käytä sellaisia tehtävä- ja palauterakenteita, jotka korostavat ennemminkin oppimisen, vaivannäön, kehittymisen ja itsensä kehittämisen lähtökohtia kuin tukeutumista sosiaaliseen vertailuun tai ennalta-asetettuihin normeihin.</p>

Kuva 9. Motivaatioon vaikuttavien tekijöiden toteutus luokkahuoneessa. (Mukaiilu, Pintrich, 2003, 627.)

Käytännöllisten luokkahuoneohjeiden lisäksi koen Pintrichin (2003) kysymyksen numero 5 (*miten motivaatio johtaa kognitioon ja kognitio motivaatioon?*) nousevan erityisen keskeiseen merkitykseen juuri tutkimukseni ja erityisesti luvussa 2.1.2 erittelemäni emootioihin liittyvän aivotutkimuksen näkökulmasta.

Aiemman – artikkelissaan Pintrichin eri kirjallisuuslähteiden avulla tarkasti erittelemän – käsityksen mukaisesti oppimisympäristöissä painotettiin tehokkuuden ja erilaisten oppimisstrategioiden merkitystä akateemisen kognition kehittämisessä. Emotionaalisilla tai motivaatioon liittyvillä tekijöillä ei nähty paljoakaan painoarvoa. Kun kognitiotutkijat alkoivat tehdä tutkimustyötä kouluympäristöissä, havaittiin nopeasti, että motivaatiollisilla ja sosiaalisilla tekijöillä on suuri merkitys kognitioiden kannalta akateemisessa kontekstissa. Vaikka tämä havainto onkin selkeä, vielä ei ole yksiselitteistä mallia siitä, miksi motivaatiolliset tekijät vaikuttavat keskeisellä tavalla tiedon aktivoimiseen ja hankintaan. (Pintrich, 2003, 679.)

Tunnereaktioilla (*affect*), jotka linkittyvät motivaatioon (vrt. Nurmi, 2013), on kuitenkin havaittu olevan hyvin moninaisia vaikutuksia yksilön kognitio- ja oppimisprosesseissa. Tunnereaktio voi olla suuressa roolissa esimerkiksi yksilön työmuistin käytössä. Lisäksi ”hyvillä” (positiivisilla) ja ”pahoilla” (negatiivisilla) oppimistilanteeseen liittyvillä tunteilla voi olla monenlaisia, ei-yksiselitteisiä vaikutuksia. Esimerkiksi joidenkin mallien mukaan negatiivinen tunnereaktio voi johtaa yksityiskohtaisempaan, analyttisempään ja huolellisempaan tiedonkäsittelyyn ja toisaalta positiivinen tunnereaktiolla voi olla hyödyllisiä vaikutuksia heuristisempaan, ongelmanratkaisukeskeisempään tiedonkäsittelyyn. (Pintrich, 2003, 679.)

Kouluympäristössä ja yleisesti oppimisessa oppilaiden motivoinnissa keskeisiksi tekijöiksi nousevat siis esimerkiksi palautteenantojärjestelmä, joka keskittyy oikeisiin syy-päätelmiin sekä minäpystyvyyden ja –kuvan selkeä, tarkka ja positiivinen käsittely ja sen kehittymiseen pyrkiminen. Lisäksi keskeistä on vaihtelevat ja oppilaiden näkökulmasta kiinnostavat, merkitykselliset ja käytännönläheiset oppimistehtävät sekä avoin, keskusteleva sekä yhteistoiminnallisuutta korostava turvallinen sosiaalinen ympäristö. (vrt. Pintrich, 2003; Nurmi, 2013.)

4 Ongelmanratkaisutaidot

Nyky-yhteiskunnassa koko elämä on ongelmanratkaisua. (Kyllönen & Nissinen, 2014)

Vuosien kuluessa lukuisat tutkimukset (vrt. esim. ABC Music & Me; An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014; Geist, Geist & Kuznik, 2012; Walkington, 2013) ovat osoittaneet, että musiikin vaikutus matemaattiseen ajatteluun on positiivinen. Samaan aikaan musiikin ei enää aina ajatella suoranaisesti johtavan kiistatta parempaan koulumenestykseen tai kohottavan älykkyydosamäärää, vaan kokonaisvaltaisemmin aktivoivan aika-avaruudelliseen hahmottamiseen käytettäviä aivoalueita (ks. luku 2.1) mahdollistaen siten uusien hermopolkujen kehittymisen ja otollisemmat mahdollisuudet tuottaa entistä luovempia ratkaisuja (esim. ABC Music & Me). Tästä syystä koenkin, että ongelmanratkaisutaidot on tutkielmassani kattavin käsite kuvaamaan tätä positiivista kokonaisvaikutusta.

Opetussuunnitelmissakin (POPS & LOPS) monesti mainitut ongelmanratkaisutaidot on käsitteenä moniulotteinen – omalla tavallaan arkipäiväinen ja selkokielenkin termi, mutta toisaalta monessa yhteydessä paljon ensikuvitelmaa laajempi. Koska se on tutkimukseni kannalta hyvin oleellinen ja mielestäni kattava käsite kuvaamaan musiikin ja matematiikan holistisen integroinnin ja siten myös luomani integrointimallin tarkoitusta ja hyötyjä, pyrin avaamaan käsitettä mahdollisimman tarkoin tässä luvussa nimenomaan maisterintutkielmani näkökulmasta. Koska tutkimukseni näkökulma sijoittaa ongelmanratkaisutaidot nimenomaan kouluympäristöön, käytän lähteenäni käsitteen avaamisessa ensisijaisesti kouluympäristöihin sijoittuvia lähteitä, esimerkiksi PISA 2012 - tutkimusanalyysia (vrt. OECD 2013). Tuoreimman vastaavan tutkimusraportin (OECD 2019) mukaan ongelmanratkaisuun liittyvät määrittelyt ovat pysyneet edelleen muuttumattomina verrattuna OECD 2013 -raporttiin.

PISA 2012 -tutkimuksen mukaan ongelmanratkaisutaidot ovat ”yksilön kykyä ryhtyä älylliseen toimintaan ymmärtääkseen ja ratkaistakseen ongelmatilanteita, joissa ratkaisutapa ei ole heti ilmeinen. Se sisältää myös halukkuuden toimia kyseisenlaisissa tilanteissa ja hyödyntää osaamistaan rakentavana ja harkitsevana kansalaisena.” (OECD, 2013, 122.)

Ongelmanratkaisutaidot pitävät sisällään kognitiivisten ja käytännöllisten taitojen käyttöönoton, luovia kykyjä sekä muita psykososiaalisia ulottuvuuksia, kuten asenteita, motivaatiota ja arvoja (OECD, 2003b, OECD 2013 mukaan). Jo olemassa oleva tieto on tärkeää ongelmia ratkaistaessa, mutta ongelmanratkaisutaidot sisältävät lisäksi kyvyn omaksua ja käyttää uutta tietoa tai käyttää jo olemassa olevaa tietoa uudella tavalla ongelmien ratkaisun yhteydessä (OECD, 2013).

Pisa 2012 -tutkimuksessa (OECD, 2013) käytetyissä tehtävissä ongelmanratkaisutaitoja testattiin laajasti. Tästä johtuen raportissa ongelmanratkaisutaidot määritellään laajasti ja tarkasti, ja kyseisessä laajassa kontekstissa niillä:

1. Kuvataan yksilön kykyä kognitiiviseen prosessointiin.

Luova ajattelu ja kriittinen ajattelu ovat tärkeitä ongelmanratkaisutaitojen osa-alueita (Mayer, 1992 OECD:n, 2013 mukaan). Luova ajattelu on kognitiivinen toiminto, jonka lopputuloksena on ratkaisu uudenlaiseen tilanteeseen. Kriittinen ajattelu tukee luovaa ajattelua ja sitä käytetään arvioimaan mahdollisia ratkaisuja kontekstissa. (OECD, 2013.)

2. Ymmärretään ja ratkaistaan ongelmatilanteita.

Ongelmanratkaisutaidoilla kuvataan sitä, millä tasolla yksilö kykenee vastaanottamaan ongelmanratkaisutilanteen luomat haasteet ja liikkumaan kohti ratkaisua. Taitojen arvioimisen yhteydessä analysoidaan usein koko ratkaisuprosessia, ei ainoastaan lopputulosta. Ongelmanratkaisutaidot pitävät sisällään myös ne strategiat, joita yksilö ongelmanratkaisuun käyttää. Ongelmanratkaisu alkaa ongelman tunnistamisella suhteessa tilanteeseen ja tilanteen luonteen ymmärryksen muodostamiseen. Tämä vaatii ongelmanratkaisijalta tiettyjen ongelmien tunnistamista, ratkaisun johtamisen suunnittelua ja tilanteen kehittymisen arviointia koko prosessin ajan. (OECD, 2013.)

Usein oikean maailman ongelmiin ei ole tarkkaa tai yksiselitteistä vastausta. Lisäksi ongelmatilanne voi muuttua ongelmanratkaisuprosessin aikana esimerkiksi ongelmanratkaisijan käsissä tai tilanteen luontaisen muuttuvuuden vuoksi. (OECD, 2013.)

3. Ratkaistaan erityisesti tilanteita, joissa ratkaisumenetelmä ei ole heti selvä ja yksiselitteinen.

Tavat, joilla löytää ratkaisupolku, eivät välttämättä ole heti selkeitä ongelmanratkaisijalle. Usein ongelmat sisältävät eritapaisia ”muureja” tai esimerkiksi puuttuvaa (ratkaisun kannalta oleellista) informaatiota. Ongelmanratkaisijan tulee aktiivisesti tutkia ja ymmärtää ongelmaa ja vastoinkäymisissä joko keksiä uusi strategia tai käyttää toisessa yhteydessä opittua strategiaa uudessa kontekstissa ratkaisun löytämiseksi. Ongelman tuttuus riippuu ratkaisijasta: sama tilanne voi olla ongelmallinen yhdelle ratkaisijalle, kun samaan aikaan toiselle kyseisen kaltaisiin tilanteisiin tottuneelle ratkaisijalle tilanteeseen voi olla itsestään selvä ratkaisu. (OECD, 2013.)

4. Tarkoitetaan halukkuutta sitoutua ratkaisemaan esimerkiksi kohdan 3 kaltaisia tilanteita.

Ongelmanratkaisu on henkilökohtaista ja siten ongelmanratkaisijan omien tavoitteiden ohjaamaa – ongelmanratkaisutaitoihin vaikuttaa yksilön motivaatiolliset tekijät, kuten uskomukset, itsetunto sekä tunteet suhteessa omaan kiinnostukseen sekä taitoon ratkaista ongelma (Mayer & Wittrock, 2006; Mayer, 1998 OECD:n, 2013 mukaan). Lisäksi saatavilla olevat työkalut ja ympäristö, jossa ratkaisija operoi, vaikuttavat siihen, miten ongelmanratkaisija lähestyy ongelmaa ja sitoutuu ongelmanratkaisuun (OECD, 2013).

Yleisen tason ongelmanratkaisuprosessia on kuvattu seuraavien vaiheiden (neljä kappaletta) avulla (OECD, 2013, 126):

Tutkiminen ja ymmärtäminen (*exploring and understanding*).

Ensimmäisen ongelmanratkaisuvaiheen tavoitteena on rakentaa mentaalisia esityksiä jokaisesta ongelmatilanteesta esiintyvistä informaatiotekijästä. Tämä tarkoittaa ongelmatilanteen tarkkailua, sen kanssa vuorovaikuttamista, tiedon etsimistä sekä rajojen tai esteiden löytämistä. Lisäksi ratkaisijan tulee tässä vaiheessa ymmärtää annettu informaatio ja informaatio, jonka on kerännyt itse vuorovaikutuksessa tilanteen kanssa. (OECD, 2013, 126.)

Esittäminen ja muodostaminen (*representing and formulating*).

Toisessa vaiheessa rakennetaan koherentti mentaalinen esitys ongelmatilanteesta. Tätä varten täytyy osata valikoida relevantti tieto, joka tulee edelleen jäsenellä ja integroida aiemman tietouden kanssa loogiseksi kokonaisuudeksi. Tämä pitää sisällään tilanteen esittämisen esimerkiksi taulukon muodossa, graafisesti, symbolisesti tai verbaalisesti tai

käyttäen apunaan kaikkia esitysmuotoja. Lisäksi tässä vaiheessa voidaan muodostaa hypoteesejä tunnistamalla ongelman kannalta relevantit tekijät ja niiden väliset suhteet sekä järjestämällä ja kriittisesti arvioimalla tietoa. (OECD, 2013, 126.)

Suunnittelu ja toteutus (*planning and executing*).

Suunnittelu koostuu tavoitteiden asettamisesta, mikä pitää sisällään kokonaistavoitteen selventämisen ja alatavoitteiden asettamisen niihin paikkoihin, joissa se on tarpeellista sekä suunnitelman tai strategian (tarvittavat askelmat mukaan lukien), jolla voidaan saavuttaa tavoite, keksimisen. Toteutus pitää sisällään laaditun suunnitelman toteuttamisen. (OECD, 2013, 126.)

Monitorointi ja reflektointi (*monitoring and reflecting*).

Monitoroinnilla tarkoitetaan jokaisen ratkaisuun johtaneen edistysvaiheen tarkastelua ja jokaisen välituloksen sekä lopputuloksen tarkistamista. Reflektointi pitää sisällään muun muassa ratkaisujen tarkastelun kriittisesti eri perspektiiveistä, olettamuksien ja vaihtoehtoisten ratkaisujen arvioinnin sekä lisäinformaation tai -selitysten tarpeen tunnistamisen. (OECD, 2013, 126.)

Käsittelen seuraavissa alaluvuissa ongelmanratkaisutaitoja ja niihin liittyviä prosesseja vielä lyhyesti erikseen matematiikan ja musiikin kontekstissa osoittaakseni samalla, minkälaisia yhtäläisyyksiä ja mahdollisia eroavaisuuksia ongelmanratkaisuprosesseissa kyseisten aineiden kontekstissa on havaittavissa. Kummankin aineen spesifi ongelmanratkaisuprosessi sivuaa yllä esitellyn yleisen tapahtumaketjun kulkua. Lisäksi luvussa 2 esittelemäni aivotutkimus tukee aineiden oppimisen sekä käsittelyn yhtäläisyyksiä myös kognitiivisella ja aivotoiminnallisella tasolla.

4.1 Ongelmanratkaisutaidot matematiikassa

Ongelmanratkaisulla matematiikan kontekstissa tiedetään olevan merkittävä paikka myös koulukontekstissa, sillä matematiikka esittelee todellisen elämän ongelmatilanteita, joista yksilö voi selvitä kehittyneiden ongelmanratkaisutaitojen avulla (Özreçberoglu & Çağanağa, 2017). Pisa 2012 -tutkimuksen tutkimusanalyysi nimeää nimenomaan matemaattisten ongelmien ratkaisemisen kolmeksi pääprosessiksi seuraavat:

1. Muodostaa (*formulate*)

2. Työstää (*employ*)

3. Tulkita (*interpret*)

(OECD, 2013, 28).

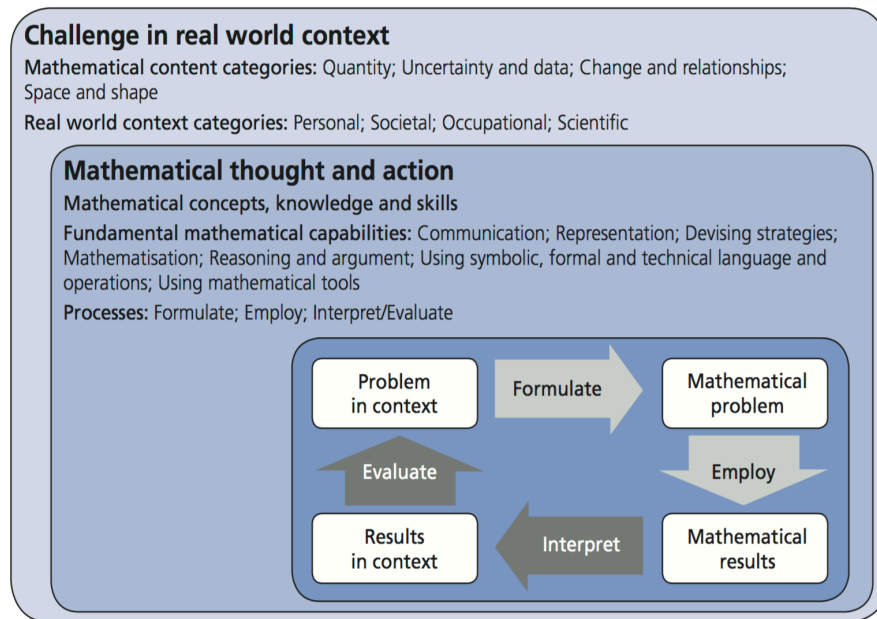
Käytännössä kyseiset verbit siis osoittavat ne kolme prosessia, joissa oppilaat aktivoituvat nimenomaan ongelmanratkaisijoina. Muodostaminen matematiikan kontekstissa kuvaa matematiikan käyttämisen mahdollisuuden tunnistamista erilaisissa tilanteissa – sitä, että tietyn esitetyn ongelman tai haasteen voi ymmärtää, kirjoittaa ja ratkaista nimenomaan matematiikan avulla. Tämä prosessi pitää myös sisällään kyvyn kääntää esitetty tilanne matemaattisesti hyväksytylle kielelle, tuottaa tilanteen matemaattinen rakenne ja esitys sekä tunnistaa muuttujat. (OECD, 2013, 28).

Työstämisellä tarkoitetaan matemaattisen järjestyksen ja matemaattisten konseptien, käytäntöjen, faktojen ja työkalujen käyttämistä matemaattisen ratkaisun aikaansaamiseksi. Prosessi sisältää siis laskujen suorittamisen, yhtälöiden tai muiden matemaattisten mallien ratkaisemisen, informaation analysoinnin matemaattisella tavalla (esimerkiksi kuvaajat ja tilastot), matemaattisten kuvausten kehittämisen ja selittämisen matemaattisten ongelmanratkaisutyökalujen avulla. (OECD, 2013, 28).

Viimeinen pääprosessi eli tulkinta tarkoittaa matemaattisten ratkaisujen reflektointia ja niiden tulkitsemista alkuperäisen ongelman kontekstissa. Tämä tarkoittaa siis matemaattisen ratkaisun järkevyyden pohtimista suhteessa kontekstiin – sitä, onko saatu lopputulos järkevä tilanteen kannalta. (OECD, 2013, 28).

Kun yksilöt käyttävät matemaattisia työkaluja ongelmanratkaisuun, työskentely sisältää eri vaiheiden sarjan. Alla oleva kuva 10 havainnollistaa sarjan merkittävimpiä elementtejä ja sitä, kuinka ne suhteutuvat toisiinsa.

A model of mathematical literacy in practice



Kuva 10. Ongelmanratkaisutaitoprosessi matematiikassa. (OECD 2013, 26.)

Uloin laatikko (*Challenge in real world context*) kuvassa kuvaa matemaattisten taitojen (*mathematical literacy*) sijoittumista sellaisen ongelman kontekstiin, joka nousee todellisesta maailmasta. Ongelmat voivat liittyä matematiikan näkökulmasta määrään (*quantity*), epävarmuuteen ja dataan (*uncertainty and data*), muutokseen ja suhteisiin (*change and relationships*) tai tilaan ja muotoon (*space and shape*).¹⁶ Ongelmien konteksti voi olla yksilöllinen (*personal*), sosiaalinen (*societal*), ammattiin liittyvä (*occupational*) tai tieteellinen (*scientific*). (OECD 2013, 25–26.)

Kyseisenkaltaisten ongelmien ratkaisemiseksi yksilön on harjoitettava matemaattista ajattelua ja toimintaa – kuvan keskikokoinen laatikko (*Mathematical thought and action*) mallintaa tätä. Ongelmanratkaisija tarvitsee valikoiman matemaattisten konseptien hallintaa, tietoutta ja kykyjä (*concepts, knowledge, skills*). Näitä matemaattisia toimia erittelevät edelleen seitsemän perustavanlaatuaista matemaattista kykyä (*fundamental mathematical capabilities*): kommunikaatio (*communication*), esillepano (*representation*), strategioiden keksiminen (*devising strategies*), matematisointi (*mathematisation*), järjkeily ja argumentointi (*reasoning and argument*), symboliikan käyttö (*using symbolic*), muodollinen ja teknillinen kieli ja toiminnot (*formal and technical language and*

¹⁶ Kyseiset käsitteet ovat keskeisiä myös musiikin kontekstissa (vrt. esim. luku 2).

operations), matemaattisten työkalujen käyttö (*using mathematical tools*). Kykyjen hallinta on oleellista ratkaisun luomisen kannalta. (OECD 2013, 25–26.)

Pienimmässä laatikossa kuvataan idealisoitua ja yksinkertaistettua sykliä vaiheista, joita ongelmanratkaisija käy läpi matemaattisen ongelmatilanteen yhteydessä. Ensin yritetään tunnistaa ongelman kannalta oleellinen matematiikka ja muodostaa (vrt. *formulate*) tilanteesta matemaattinen lause tunnistettujen suhteiden ja konseptien pohjalta. Näin yleisestä ongelmasta (*problem in context*) tulee matemaattinen ongelma (*mathematical problem*), joka on siten matematiikan avulla ratkaistavissa. Tämän jälkeen ongelmanratkaisija voi työstää (*employ*) ongelmaa tuntemiensa matemaattisten konseptien, käytäntöjen ja työkalujen avulla ja saada ongelmasta matemaattisia tuloksia (*mathematical results*). Seuraavaksi matemaattiset tulokset pitää tulkita (*interpret*) alkuperäisessä kontekstissa (*results in context*) – tämä tarkoittaa tulosten tulkitsemista, soveltamista ja niiden järkevyyden ja paikkansapitävyyden arviointia (*evaluate*) suhteessa alkuperäiseen ongelmaan eli todellisen maailman kontekstiin. (OECD, 2013, 25–26.)

Yllä avattu PISA-tutkimuksen kuvaus ongelmanratkaisuprosessista sekä yleisellä että matemaattisella tasolla voidaan nähdä yksityiskohtaisempana versiona George Polyan (1957) julkaisemasta ongelmanratkaisukuvauksesta, joka piti sisällään seuraavat vaiheet: (1) *ongelman ymmärtäminen*, (2) *suunnitelman laatiminen*, (3) *suunnitelman toteuttaminen* sekä (4) *tehdyn tarkastelu ja reflektointi*. (Polya, 1957.)

4.2 Ongelmanratkaisutaidot musiikissa

Matematiikan kontekstissa ongelmanratkaisutaitojen keskeisyys on lähes itsestään selvää, mutta myös musiikin oppimiskontekstissa niiden (ongelmanratkaisutaitojen) vaikutusta ja kehitystä on tutkittu jo viime vuosituhanella. Lukuvuonna 1985–1986 DeLorenzon (1989) tutkimusryhmä suoritti aiheesta tutkimuksen, johon osallistui neljä eri kuudennetta luokkaa neljästä eri koulusta (kolme koulua New Jerseystä, yksi Connecticutista). Kyseiset koulut valittiin tutkimukseen, sillä niissä oli erilliset musiikkiohjelmat, joihin sisältyi musiikillisia ongelmanratkaisuharjoituksia. (DeLorenzo, 1989, 192.)

Lukuvuoden aikana tutkija videoi 1–3 eri luovaa projektia kullakin koululla. Musiikkispesialisteja oli pyydetty toimimaan normaalisti tutkimuksen aikana ja ottamaan yhteyttä tutkijaan, kun luokka aloitti projektin. Kahdeksasta tarkkaillusta projektista seitsemän toteutettiin ryhmissä ongelmanratkaisutehtävien parissa ja yksi yksilöllisinä on-

gelmanratkaisutehtävinä. Ongelmanratkaisutehtävät pitivät koulusta ja projektista riippuen sisällään esimerkiksi melodioiden improvisointia annetun sointukierron sointuun kuuluvilla äänillä. (DeLorenzo, 1989.)

Tutkimuksen yhteydessä näytti alun perin siltä, että kunkin oppilaan lähestyminen ratkaistavaan ongelmaan olisi ollut melko erilainen. Tutkimuksen edetessä havaittiin kuitenkin, että samalla tasolla olevien oppilaiden ongelmanratkaisutavoissa esiintyi samankaltaisia käyttäytymismalleja. Havainnon seurauksena pystyttiin erottelamaan neljä luovan musiikillisen ongelmanratkaisun piirrettä, jotka toimivat oppilaiden toiminnan kehystenä:

1. Ongelman rakenteen havainnointikyky (*perception of the problem structure*)
2. Musiikillisen muodon etsiminen (*search for musical form*)
3. Musiikillisten mahdollisuuksien ymmärryskapasiteetti (*capacity to sense musical possibilities*)
4. Henkilökohtaisen sitoutuneisuuden taso (*degree of personal investment*)

(DeLorenzo, 1989, 193.)

Ongelman rakenteen havaitsemisesta tehty kirjallisuus osoittaa, että ongelman rakenne – kyseisen ongelman parametrien kontekstissa ongelmanratkaisijalle annettu valinnanvara – on jonkinlaisessa yhteydessä ongelmanratkaisuprosessin ja lopullisen ratkaisun luovuuteen. Vaikka opettajavetoisessa tilanteessa opettajan tarjoamalla ongelman rakenteella oli vaikutusta, suurempi vaikutus oppilaan musiikilliseen päätöskykyyn näytti olevan kuitenkin oppilaan omalla ongelman rakenteen havainnointikyvyllä eli sillä, miten oppilas itse kognitiivisesti esitti ongelman rakenteen itselleen. Oppilaan musiikillisen tietämyksen laajuus ja hänen omat musiikillisen informaation jäsentelystrategiansa tulivat tutkimuksessa havaittavissa oleviksi indikaattoreiksi, joista päätellä havaitut rakenteet ja rajat ongelmatilanteessa. (DeLorenzo, 1989, 194.)

Eräs tutkimuksen oppilas havaitsi tutkimuksen musiikillisessa ongelmatilanteessa vain vähän erilaisia ratkaisuvaihtoehtoja – hän muunteli alkuperäistä ongelmaa ainoastaan vähän ja oli nopeasti valmis. Toinen oppilas, joka näki ongelmatilanteen rakenteen ja musiikilliset piirteet syvemmin, muokkasi ja kehitti jatkuvasti musiikillisia ideoita sekä käytti paljon aikaa musiikillisen rakenteen määrittelyyn. Ensimmäisen oppilaan tapauk-

sessä ratkaisu ei ollut kaukana itse alkuperäisestä ongelmasta, kun taas toiselle alkupe-
räinen ongelma oli ainoastaan alkusysäys, jota viedä eteenpäin ja ratkoa koko prosessin
läpi. (DeLorenzo, 1989, 194.)

Muodon etsiminen ja musiikillisten ajatusten muotoileminen kommunikoitavissa ole-
vaan muotoon merkitsee ongelmanratkaisumethodin etsimistä. Kyseisessä tutkimuksessa
oppilaat näyttivät järjestelevän heidän musiikilliset tuotoksensa yhdellä seuraavista ta-
voista:

1. Annetun ongelman rakenne toimi maaperänä uudelle materiaalille
2. Ei-musiikillinen tekijä (esimerkiksi tarina tai tapahtumaketju) tuli keskeiseksi rakenteeksi
3. Äänitapahtumien musiikillinen luonne määritteli lopputuotoksen muodon.

(DeLorenzo, 1989, 194.)

Kun oppilaat käyttivät muotoilussa jo olemassa olevia rakenteita, kuten annettua on-
gelmaa tai tarinaa, heidän päätöksentekonsa keskittyi enemmän itse operaatioihin (vrt.
esim. harjoittelu) kuin musiikilliseen sisältöön. Nämä oppilaat käyttivät suurimman
osan kokonaisajasta tuotoksensa harjoitteluun, eivätkä juuri ollenkaan aikaa tuotok-
sensa musiikillisen sisällön avaamiseen tai ajattelemiseen. Sitä vastoin, kun oppilaat
antoivat musiikillisen materiaalin määrittellä sävellyksensä muodon, he tulivat ajatel-
leeksi enemmän jokaisen äänellisen ratkaisun musiikillista merkitystä. (DeLorenzo,
1989, 195.)

Tutkimuksen aikana kävi pian ilmi, että äänen tuottaminen ei ole sama asia kuin musii-
killinen ilmaisu (vrt. musiikillisten mahdollisuuksien ymmärryskapasiteetti). Monet
tutkijat aiemmin ovatkin havainneet, että musiikillinen ilmaisu pitää sisällään sekä ää-
nen tuottamisen että sen (tuotetun äänen) ilmaisukyvyn arvioimiskapasiteetin. Ilman
jälkimmäistä äänen tuotanto on ainoastaan fysikaalinen ilmiö. Tutkimuksessa jotkut
oppilaat jäivät kiinni toistuviin mekaanisiin kaavoihin, kun taas toiset tarttuivat mahdol-
lisuuteen kehittää, muuntaa ja muotoilla tiettyä äänielementtiä tai elementtien ketjua
ilmaisulliseksi musiikiksi. (DeLorenzo, 1989, 196.)

Mitä kokonaisvaltaisemmin ja omistautuneemmin oppilas osallistui musiikilliseen pää-
töksentekoprosessiin itse, sitä suuremmalta vaikutti hänen sitoutumisensa luovan loppu-

tuloksen suhteen. Oppilaat, jotka olivat henkilökohtaisesti sitoutuneita tutkimukseen, olivat innostuneempia ja varsinkin lopputuotoksen valmistumisen lähestyessä kasvavasti sitoutuneita, kun taas sitoutumattomimmat ongelmanratkaisijat (oppilaat) saattoivat häiriintyä helposti, eivätkä he näyttäneet tunteitaan tai verbalisoineet ajatuksiaan juuri-kaan prosessin edetessä. (DeLorenzo, 1989, 196.) Henkilökohtaiseen sitoutuneisuuteen kunkin oppilaan kohdalla saattoivat vaikuttaa henkilökohtainen musiikkisuhde sekä kyky havainnoida ongelman rakennetta (vrt. ongelmanratkaisukehyksen kohta 1) sekä muodostaa musiikillisia muotoja (vrt. ongelmaratkaisukehyksen kohta 2) (DeLorenzo, 1989, 196–197).

4.3 Ongelmanratkaisutaitojen kehittymisen hyödyt

Ongelmanratkaisutaidot ovat tärkeä avaintekijä siinä, miten yksilöt auttavat **muokkaamaan maailmaa** – eivät ainoastaan selviämään siinä. Ihmisten tulee olla tehokkaita ongelmanratkaisijoita saavuttaakseen potentiaalinsa **rakentavana, huolellisena ja reflektoiavana kansalaisena**. (OECD, 2013, 123.) Ongelmanratkaisutaitojen kehittymisen tarpeellisuus ja hyödyt korostuvat tutkielmassani tutkimuskatsaustenkin kautta ja ovat suurilta osin edeltävän kuvauksen perusteella hyvin yleishyödyllisiä, mutta avaan lyhyesti opetussuunnitelman tarjoamaa näkökulmaa asiaan.

Lukion opetussuunnitelman perusteet erittelevät ongelmanratkaisua kehittävän opetuksen perusteiksi esimerkiksi seuraavat:

1. Ongelmanratkaisun merkitys **kestävässä kehityksessä**
2. Ongelmanratkaisun merkitys **suhteessa ihmiskuntaan**

Ongelmanratkaisutaitojen kehittymiseen pyrkivällä opetuksella siis pyritään samalla vahvistamaan opiskelijan yhteiskunnallista osaamista, eettisyyttä, ympäristöosaamista sekä hyvinvointiosaamista. Kuten johdantoluvussa 1.1 on todettu, ongelmanratkaisukeskeiset opetusmenetelmät kehittävät samalla opiskelijan **luovaa ja kriittistä ajattelukykyä**. (LOPS, 2019.)

Työelämän näkökulmasta tarvittavia osaamisalueita nähdään olevan muun muassa vuorovaikutusosaaminen, monitieteinen ja luova osaaminen, eettinen osaaminen, yhteiskunnallinen osaaminen sekä ympäristöosaaminen – kaikki alueita, joiden tärkeä tai väistämätön osa on nimenomaan kyky ratkaista erilaisia ongelmia. **Työelämässä pärjäämi-**

sen kannalta oleellisia taitoja ovat lisäksi motivoituminen uuden oppimiseen, kyky arvioida ja kehittää omaa osaamistaan, yhteistyötaidot, elämänhallinnan taidot, kieli- ja kulttuuritaidot sekä syvälinen ymmärrys siitä, miten työelämään vaikuttavat muutokset vaikuttavat oman osaamisen kehittämiseen. (LOPS, 2019, 25–26.) Ongelmanratkaisutaidot ovat yhtenä tekijänä keskiössä siis myös työelämässä pärjäämisen kannalta.

Opetushallituksen julkaiseman Osaaminen 2035 -raportissa (OPH, 2019) tarkastellaan muutoksia osaamisen merkityksissä sekä tärkeimpiä osaamisia vuoden 2035 näkökulmasta (OPH, 2019, 5). Raportissa pyritään lisäksi ennakoimaan kasvualojen tehtävärakenneperustaisia osaamistarpeita sekä pohtimaan jatkuvan oppimisen luomia haasteita. Raportin lähtökohtana on Osaamisen ennakointifoorumin (OEF) ennakointiprosessi, jonka yhteydessä koulutuksen ja työelämän asiantuntijat ennakoivat koulutus- ja osaamistarpeita samalla pohtien mahdollisia kehittämissuhteita koulutukseen. (OPH, 2019, 5.)

Raportissa eritellään asiantuntijoiden näkemystä siitä, miten eri osaamisalueiden merkitys yhteiskunnassa muuttuu vuoteen 2035 mennessä (verrattuna nykytilanteeseen) - kaikista eniten merkitystään kasvattivat ongelmanratkaisutaidot, kokonaisuuksien hallinta, luovuus sekä itseohjautuvuus. Lisäksi hyvin lähelle näitä nousivat oppimiskyky, joustavuus ja monikulttuurisuustaidot. (OPH, 2019, 21–22.) Raportissa huomioidaan, kuinka moni näistä eniten merkitystä kasvattavista osaamisista – ongelmanratkaisutaidot kärkipään esimerkkinä – **antaa taitoja, joiden avulla ihminen voi hallita muutosta** (OPH, 2019, 25).

Etenkin juuri ongelmanratkaisutaitojen merkityksen kasvu kattoi erittäin laajalti eri toimialaryhmät - ongelmanratkaisutaidot nähtiin siis (meta)osaamisena, jonka merkitys tulee kasvamaan huomattavan paljon ja jonka merkityksen muutoksesta eri toimialaryhmillä on yhtenäinen kanta (OPH, 2019, 25).

5 Musiikin ja matematiikan integroiminen kouluympäristössä

Tieteen keinoin ei voi tutkia maailmaa, jos ei tunne sitä kohtaan intohimoista tunnetta, eikä taiteen keinoin voi kuvata maailmaa, ellei rakasta sitä (Valtaoja, 2012, 192).

5.1 Miten musiikkia ja matematiikkaa integroimalla voidaan kehittää oppijan ongelmanratkaisutaitoja kouluympäristössä?

Ensimmäisessä tulosluvussa pohjustan luvun 5.2 teoreettista integrointimallia erittelemällä muutamia jo olemassa olevia tutkimuksia musiikin ja matematiikan integroimisen vaikutuksista ihmiseen/oppijaan sekä jopa opettajiin. Vaikka moni tässäkin luvussa esittelemistäni tutkimuksista asettaa edelleen alkuperäistavoitteekseen parantaa itse aineiden oppimista, ei kokonaisvaltaisesti ongelmanratkaisutaitojen kehittymistä, on katsaus kuitenkin mielestäni erittäin tärkeä pohja seuraavassa luvussa esittelemälleni mallille, sillä se sivuaa mallin kolmea mielestäni oleellisinta näkökulmaa integrointiin. Vaikka ongelmanratkaisutaitojen kehittämistä ei ole ehkä nähty kyseisten tutkimusten itseisarvona, tutkimusten tulosten perusteella on selkeää, että yhteys luvussa 4 avaamaani käsitteeseen on olemassa.

David Wrightin teos *Mathematics And Music* on suunniteltu yliopisto-opiskelijoille suunnatuksi matematiikkaa ja musiikkia integroivaksi kurssisisällöksi (Wright, 2009). Se nimeää tavoitteikseen seuraavat:

1. Musiikin ja matematiikan välisten yhteyksien tutkiminen.
2. Opiskelijoiden musiikillisen tiedon ja luovuuden kehittäminen ja korostaminen.
3. Opiskelijoiden taitojen kehittäminen ja korostaminen joidenkin matemaattisten aihepiirien sekä abstraktin järjelyn (*abstract reasoning*) suhteen.
4. Opiskelijoiden analyyttisten ja artististen taitojen integroiminen.

5. Interaktiivisten musiikillista ja matemaattista luovuutta kehittävien työvälineiden, kuten tietokoneiden ja syntetisaattoreiden esittely. (Wright, 2009.)

Tavoitteita pyritään saavuttamaan opiskelemalla laaja-alaisesti (1) musiikillisia ja matemaattisia peruskonsepteja, (2) kummankin aihepiirin horisontaalista rakennetta, (3) harmoniaa ja siihen liittyvää numerologiaa, (4) lukusuhteita, logaritmeja ja intervaleja, (5) kromaattisia asteikkoja, (6) oktaavin tunnistusta, (7) kokonaislukujen ominaisuuksia, (8) äänensävyä ja jaksollisia toimintoja, (9) kokonaislukuja ja rationaalilukuja intervallien kontekstissa sekä (10) virittämistä (Wright, 2009). Vaikka kyseessä onkin teoreettinen teos, luo se nähdäkseni hyvinkin samankaltaisia ja laaja-alaisia tavoitteita musiikin ja matematiikan integroinnille ja oppimiselle kuin seuraavaksi erittelemäni empiiriset integrointikokeilut.

Artikkeli *Preservice Teachers' Perceptions About Teaching Mathematics Through Music* (2014) avaa tutkimusta, joka pyrki selvittämään, mitä opettajat ajattelevat matematiikan ja musiikin integroimisesta ja miten he tulevaisuudessa työympäristöissään suunnittelevat integroivansa musiikkia matematiikan opetukseen. Kaikki osallistuneet 53 opettajaopiskelijaa pitivät kukin kuusi 40 minuutin mittaista musiikkia ja matematiikkaa yhdistelevää oppituntia kuuden viikon mittaisen periodin aikana. Tämän jälkeen opettajaopiskelijat osallistuivat verkkokeskusteluun, kirjoittivat kukin omia kokemuksiin reflektoivan esseen sekä antoivat kommentteja toistensa esseistä. Vaikka tämäkin tutkimus toteutettiin alun perin lähinnä matematiikan näkökulmasta, huomasivat opettajaopiskelijat tutkimuksen aikana, että oppilaiden innostus musiikkia kohtaan, musiikin ymmärtäminen ja opettajaopiskelijoiden oma uskallus opettaa musiikkia kasvoivat ja oppilaiden asenne musiikin opiskelua kohtaan parani. (An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014.)

Kun tutkimukseen osallistuneita opettajaopiskelijoita pyydettiin tutkimusperiodin jälkeen havainnoimaan ja jakamaan kokemuksiaan integraatiosta ja sen vaikutuksista, huomattiin niiden (kokemusten) jakautuvan neljään eri pääkategoriaan:

1. Matematiikan oppimiseen liittyvien ongelmien korjaantuminen
2. Oppilaiden akateemisten tulosten paraneminen
3. Oppimisen ilo – positiivisia oppimiskokemuksia myös matematiikan yhteydessä
4. Luovuuden kehittyminen. (An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014, 158.)

Eräs opettajaopiskelijoista kommentoi musiikin olevan avain sieluun: jos ja kun musiikkia käytetään esimerkiksi juhlimisen, ilmaisun, kanssakäymisen ja nautinnon yhteydessä, miksi ei opetuksessakin? Hänen näkökulmastaan musiikki tarjoaa oppilaille käytännöllisemmän tulokulman oppimiseen ja matematiikkaan työvälineenä. Siksi olisikin tärkeää kehittää metodeja, joiden avulla opetettavat ilmiöt jäisivät oppilaan mieleen. (An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014, 159.)

Lisäksi opettajaopiskelijoita pyydettiin pohtimaan, miksi integraatio paransi oppilaiden (koulu)menestystä. Vastaukset pystyttiin jaottelemaan kolmeen pääkategoriaan:

1. Integrointi aktivoi aivoja ja stimuloi siten kognitiivista kehitystä (vrt. luku 2.1)
2. Integrointi helpottaa tiedonjäsentelyä ja muistamista, sillä ilmiöiden väliset yhteydet on helpompi havaita¹⁷
3. Integrointi tarjoaa mahdollisuuden esittää matemaattisia ilmiöitä aiempaa monipuolisemmassa kontekstissa (vrt. musiikki). (An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014, 159.)

Tutkimuksen päätarkoituksena oli selvittää, millä keinoin tulevat opettajat suunnittelevat tekevänsä musiikin ja matematiikan integroinnista arkipäivää ja mitä matematiikan osa-alueita he pitävät integroinnin kannalta hyödyllisimpinä (An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014). Erään opettajaopiskelijan mielestä musiikki voi vähentää stressitasoja huomattavasti ja tehdä hänenkin tunteistaan eloisampia ja innostavampia, minkä vuoksi integroinnin arkipäiväistäminen olisi tärkeää. (An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014, 160.)

Opettajaopiskelijoiden mielipiteet siitä, mitä matematiikan osa-alueita on kannattavaa integroida, jakautuivat viiteen eri alueeseen:

1. Numerot ja operaatiot (75,22%)
2. Algebra (55,96%)

¹⁷ Erityisesti 2. kohta nitoutuu tiiviisti luvussa 4 esittelemiini ongelmanratkaisutaitoihin, joiden totesin pitävän sisällään ennalta hankitun tiedon yhdistämistä uuteen kontekstiin (vrt. tiedonjäsentely ja ilmiöiden väliset yhteydet) sekä aiemman tiedon palauttamista muistista (muistaminen).

3. Geometria (37,61%)
4. Todennäköisyys ja tilastotiede (32,11%)
5. Mittaaminen (15,60%)

Prosentit kategorioiden perässä havainnollistavat siis sitä, kuinka suuri osa opettaja-opiskelijoista piti juuri kyseisen matematiikan osa-alueen integroimista musiikin kanssa kannattavana ja hyvänä. (An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014, 161.)

Ensimmäinen Numerot ja operaatiot -kategoria (esim. yhteenlasku, vähennyslasku, kertolasku, jakolasku, lukusuhteet, murtoluvut, reaali- ja kokonaisluvut) oli tutkimukseen osallistuneiden opettajaopiskelijoiden mielestä sellainen matematiikan osa-alue, jota tulisi ehdottomasti integroida musiikin kanssa muun muassa säveltämisen ja soittamisen avulla (An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014, 161). Esimerkiksi yksi opettaja-opiskelijoista kertoi tehtävästä, jossa hän antaisi oppilailleen eri värisiä ja eri taajuuksilla soivia kelloja, jotka kaikki samalla kuvaisivat eri lukuja (esim. sininen = 1, punainen = 2 jne.). Tämän jälkeen hän esittäisi oppilaille matemaattisia laskutehtäviä (vrt. ”Mitä on $4 - 2$?”), joihin tulisi vastata siten, että oppilas soittaa oikeanväristä (ja vastausta lukuun edustavaa) kelloa. (An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014, 162.) Vaikka kyseinen tehtäväehdotus onkin luonteeltaan sopiva nuoremmille lapsille, se nostaa selkeästi esiin musiikin ja matematiikan tärkeitä oppiainesisällöllisiä yhtäläisyyksiä – lukujen ja toisaalta sävelkorkeuksien suhteita toisiinsa (vrt. luku 2).

Tutkimusraportissaan *Using Adaptive Technologies to Personalize Instruction to Student Interests: The Impact of Relevant Contexts on Performance and Learning Outcomes* (2013) Candace Walkington avaa lukiossa (*high school*) toteutettua tutkimusta, johon osallistuneet opiskelijat vastasivat ensin heidän harrastuksiaan ja kiinnostuksen kohteitaan koskevaan kysymykseen (”kuinka paljon pidät tästä aihepiiristä?”, asteikko 1–4). Aihepiirejä kyselyssä oli yhteensä yhdeksän kappaletta: musiikki, elokuvat, urheilu, TV, pelit, ruoka, kaupat, taide, tietokoneet. Kyselyyn vastaamisen jälkeen osalle opiskelijoista luotiin heitä kiinnostavia aihepiirejä koskevia personalisoituja matemaattisia tehtäviä. Tutkimusryhmä vastasi näihin personalisoituihin variaatioihin algebratehtävistä, kun taas kontrolliryhmä vastasi alkuperäisiin, tavallisiin algebratehtäviin. (Walkington, 2013.)

Alla on esimerkit tavallisesta matemaattisesta ongelmasta sekä siitä johdetuista personalisoiduista variaatioista kiinnostuksen kohteen mukaisesti (Walkington, 2013, 939).

Normaali tehtävä:

Kokeellista nestettä (LOT#XLHS-240) testataan, jotta voitaisiin määrittää sen käyttäytyminen erityisen alhaisissa lämpötiloissa. Nesteen tämän hetkinen lämpötila on $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$, ja sitä lasketaan $2,5$ astetta tunnissa.

Mikä on nesteen lämpötila 10 tunnin jälkeen tästä hetkestä? Mikä on nesteen lämpötila huomenna tähän aikaan? Koska lämpötila laskee -100 celsiusasteeseen? Olettaen, että lämpötila laskee tasaista vauhtia, koska lämpötila oli $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Ruoan avulla personalisoitu tehtävä:

Uutta limsaa, jota McDonald's myy, testataan, jotta voitaisiin määrittää sen käyttäytyminen erityisen alhaisissa lämpötiloissa. Sen tämän hetkinen lämpötila on -35 astetta Fahrenheitia¹⁸, ja sitä lasketaan $2,5$ astetta tunnissa.

Samat kysymykset.

Urheilun avulla personalisoitu tehtävä:

Uutta urheilujuomaa testataan, jotta voitaisiin määrittää sen käyttäytymisen erityisen alhaisissa lämpötiloissa. Sen tämän hetkinen lämpötila on -35 astetta Fahrenheitia, ja sitä lasketaan $2,5$ astetta tunnissa.

Samat kysymykset.

Kauppojen avulla personalisoitu tehtävä:

Dippin' dots -niminen kauppa käyttää erityisen alhaisia lämpötiloja pakataakseen jäätelöstään pieniä palloja. Juuri nyt suklaajäätelön lämpötila on -35 astetta Fahrenheitia, ja sitä lasketaan $2,5$ astetta tunnissa.

¹⁸ Tutkimuksessa lämpötiloja kuvaava yksikkö vaihdettiin Celsius-asteikosta Fahrenheit-asteikkoon, sillä monet amerikkalaisnuoret ovat tottuneet lämpötilan yksikkönä Fahrenheitin (Walkington, 2013).

Samat kysymykset.

Elokuvien avulla personalisoitu tehtävä:

Dippin' dots -niminen koju elokuvateatterissa käyttää erityisen alhaisia lämpötiloja pakastaakseen jäätelöstään pieniä palloja. Juuri nyt suklaajäätelön lämpötila on -35 astetta Fahrenheitia, ja sitä lasketaan 2,5 astetta tunnissa.

Samat kysymykset.

Tutkimuksessa havaittiin, että opiskelijat, jotka olivat vastanneet kiinnostuksen kohteidensa mukaan personalisoituihin tehtäviin, suoriutuivat ongelmien ratkaisemisesta merkittävästi paremmin kuin tutkimuksen kontrolliryhmä: tutkimusryhmän opiskelijat onnistuivat kirjoittamaan matemaattiset ilmaisut tehtävien ongelmatilanteista hyvin tarkasti ja nopeammin kuin kontrolliryhmä. Kaikista hyödyllisimpiä personalisoidut tehtävät olivat opiskelijoille, jotka olivat aiemmin kokeneet vaikeuksia matematiikan parissa. Myös personalisoitujen tehtävien sisältämän matemaattisen symboliikan ja sisällön ymmärtäminen oli tutkimusryhmällä kontrolliryhmää syvällisempää, ja positiiviset vaikutukset ilmenivät edelleen myös myöhemmin tutkimuksen jälkeen, kun tutkimusryhmä vastasi tavallisiin matematiikan tehtäviin. (Walkington, 2013.)

Personalisoitujen tehtävien positiivisilla vaikutuksilla on tutkimusraportin mukaan useita eri syitä. Tehtävät auttavat ongelmanratkaisijaa luomaan matemaattiselle ongelmalle kontekstin (vrt. luku 4.1), joka on jo entuudestaan tuttu ja lisäksi motivoiva (vrt. luku 3), mikä auttaa tehtävän matemaattisen sisällön hahmottamista. Personalisoiduilla tehtävillä havaittiin olevan tärkeä vaikutus myös keskittymiseen, ja ne motivoivat oppijoita ratkaisemaan tehtävän mahdollisimman pitkälle itse, eikä heti kysymään ratkaisua helpottavia vihjeitä. (Walkington, 2013.)

Artikkelissa *The Integration of Mathematics and Music in the Primary School Classroom* (Still & Bobis, 2008) esitellään tapaustutkimus, joka kesti kolme viikkoa eräissä australialaisessa alakoulussa vuoden 2004 keväällä. Viikot pitivät sisällään yhteensä seitsemän kahden tunnin mittaista havaintotuntia, joista kerättiin dokumentteja. Lisäksi näitä integroituja tunteja pitänyttä opettajaa haastateltiin ennen ja jälkeen tutkimuksen. Tutkimukseen osallistunut luokka koostui 29 8–9-vuotiaasta. (Still & Bobis, 2008, 714.)

Integroinnin toteutus oli luokan opettajan itsensä laatima. Sen pääasiallisena tarkoituksena oli tuoda yhteen hänen näkökulmastaan oleellisimpia elementtejä, jotka ovat yhteisiä sekä musiikin että matematiikan alalla – ajan kaikkine aspekteineen, rytmin ja kaavat mukaan luettuina. Jaksolla oli kaksi ennalta määritettyä tavoitetta: integroida musiikkia ja matematiikkaa ajan ymmärtämisen avulla sekä syventää ajan merkityksen ja sen (ajan) käytön ymmärtämistä. Jokainen tunti oli pääasiassa samankaltainen rakenteeltaan, mikä tuntui toimivan myös oppilaiden näkökulmasta. Tunti alkoi asteikkojen ja kappaleiden laulamisella, jonka jälkeen perehdyttiin tarkasti aika-arvoihin. Seuraavaksi soitettiin nokkahuilulla opettajan malliksi soittamia toistuvia kaavoja, minkä jälkeen opettaja alkoi esitellä nuottikirjoitusta ja sen symboliikkaa. (Still & Bobis, 2008, 714.)

Tarinat olivat oleellinen osa jokaista tuntia – opettaja kertoi haluavansa luoda opittaville aiheille kontekstin, joista oppilaat voisivat halutessaan luoda omia mielikuvia. Kun oppilaita pyydettiin muistelemaan tarinaa, he muistivat myös sen yhteydessä opitut asiat. Tarinan kerronnan tai edellisen tarinan muistelun jälkeen siirryttiin varsinaiseen opetushetkeen, jossa opettaja käsitteli joko aikaa musiikin näkökulmasta tai aikaa matematiikan näkökulmasta, minkä jälkeen oppilaat tekivät aiheeseen liittyviä tehtäviä (vrt. esim. rytmitehtäviä, sävelkorkeustehtäviä, vähennyslaskuja, keskusteluja maailmankellosta jne.). Tehtävillä pyrittiin esittelemään oppilaille aina vain uusia tapoja käsitellä ja opiskella aikaa. (Still & Bobis, 2008, 714.)

Tutkimuksen alussa oppilaat eivät kyenneet juuri näkemään suoria yhteyksiä musiikin ja matematiikan välillä ajan ilmiön ympärillä. Opettajan ohjaillessa keskustelua tunti tunnilta kuitenkin esimerkiksi ajan konkreettiseen merkitykseen musiikissa – sen tärkeyteen esimerkiksi laulamisen ja nokkahuilun soittamisen yhteydessä – oppilaat näyttivät ymmärtävän nopeasti. Tutkimuksen musiikkia ja matematiikka integroivien tehtävien ja keskusteluiden aikana oppilaista tuli nopeasti varmempia rytmikuvioiden lukemisen ja sävelkorkeuksien hahmottamisen kanssa. (Still & Bobis, 2008, 716.)

Opettajan opetusfilosofia koettiin merkittäväksi integroinnin aikaansaamissa positiivisissa oppimisvaikutuksissa ja perustui konstruktivistiselle oppimiskäsitykselle – hänen opetustoimistaan pystyttiin tutkimuksen aikana havaitsemaan, kuinka hän jatkuvasti pyrki opettamaan oppilaita osallistavalla tavalla. Jokaisen etenemisaskeleen yhteydessä hän pyrki tarjoamaan oppilaille vallan omasta oppimisestaan ja rohkaisemaan heitä tekemään päätelmiä ja uusia löydöksiä itse. Keskustelu oli tärkeässä roolissa tunneilla. Opettaja koki tärkeänä rakentaa luokahuoneeseen yhteistoiminnallinen ympäristö, joka

valmistaisi paitsi aineiden oppimista varten myös elämää varten. (Still & Bobis, 2008, 716.)

Timo Tossavaisen ja Antti Juvosen toteuttama *Vertailututkimus peruskoululaisten ja lukiolaisten kiinnostuksesta musiikkiin ja matematiikkaan* (2013) ei ole varsinainen integrointikokeilu, mutta siitä huolimatta havainnollistaa, kuinka musiikki ja matematiikka tukevat toisiaan molemminpuolisesti. Kansainväliseen laajaan tutkimukseen kuuluva tutkimus toteutettiin Suomessa vuosina 2007–2008, ja siihen osallistui yhteensä 1654 peruskoulu- ja lukioikäistä oppilasta/opiskelijaa. Suomessa tutkittaviksi oppiaineiksi rajautuivat juuri matematiikka ja musiikki, mutta kansainvälisellä tasolla tutkimus tutki oppilaiden/opiskelijoiden motivaatiota eri oppiaineissa. Tutkimus toteutettiin sähköisen kyselyn avulla. Kysely kartoitti tutkimukseen osallistuneiden oppilaiden taustoja, heidän motivaatiotaan suhteessa eri oppiaineisiin sekä heidän näkemyksiään muun muassa oppiaineiden tärkeydestä, vaikeustasosta sekä hyödyllisyydestä. (Tossavainen & Juvonen, 2013.)

Kyselyn vastausten perusteella huomattiin, että musiikki oli tutkimuksessa suositumpi oppiaine kuin matematiikka, mutta matematiikkaa arvostettiin sen mukaan yleisesti enemmän ja sitä pidettiin hyödyllisempänä kuin musiikkia. Kouluympäristön ulkopuolella kiinnostus matematiikkaa kohtaan romahti entisestään, mutta matematiikan yhteiskunnallinen merkitys ja hyöty työelämässä korostuivat. Musiikki nähtiin puolestaan oleellisena ja merkittävänä oman identiteetin rakentumisen kannalta. (Tossavainen & Juvonen, 2013.)

Artikkeli vetää tutkimuksen tuloksista johtopäätöksen, että oppilaiden/opiskelijoiden motivaatio matematiikkaa kohtaan sisältää pääasiassa ulkoisia tekijöitä (vrt. yhteiskunta, työelämä, jatko-opiskelupaikka) ja musiikin tekemiseen motivoi puolestaan sisäiset tekijät (vrt. nautinnonhalu, elämänilo, voimaannuttava vaikutus) (Tossavainen & Juvonen, 2013). Kyseiset huomiot puhuvat holistisemmän näkökulman puolesta: kuten ei matematiikkakaan musiikille, myöskään musiikki ei ole ainoastaan välinearvo matemaattisten taitojen parantamiseen tai matemaattisen motivaation kasvattamisessa, vaan myös matematiikan harrastaminen tukee musiikin opiskelua ja saattaa antaa sille hyödynnäkökulman, ulkoisen motivaatiotekijän (Tossavainen & Juvonen, 2015).

Koenkin yllä esitellyissä integrointikokeiluissa korostuneen paitsi luonnollisesti (1) *oppiainesisältöjen ideaalin yhdistämisen* myös (2) *oppimistilanteisiin liittyvien emotionoiden ja motivaation* sekä (3) *interaktiivisen oppimisympäristön* luomisen merkityksen

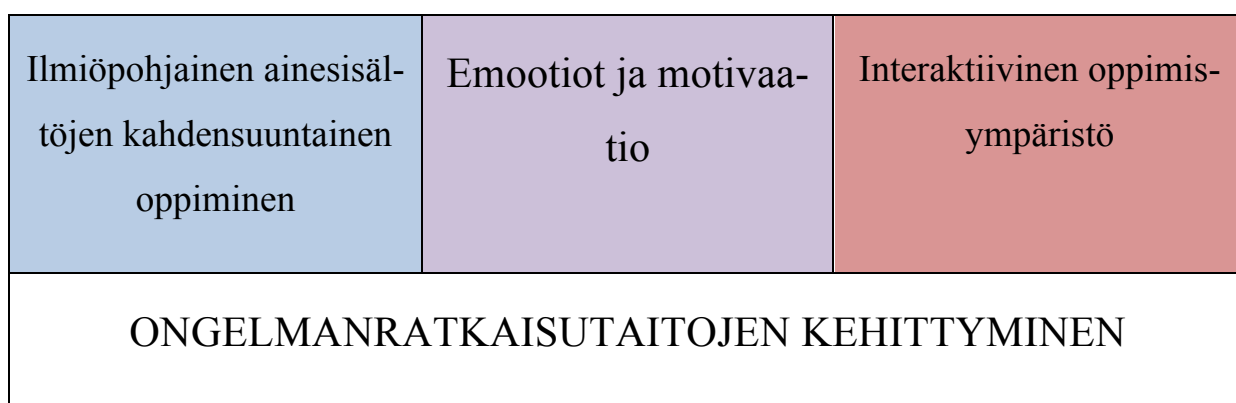
suhteessa ongelmanratkaisutaitojen (ja/tai sen osa-alueiden) kehittymiseen. Käytän kyseisiä selkeästi esiin nousseita piirteitä seuraavan luvun mallinnuksessani ja erittelen niitä vielä suhteessa yllä esiteltyihin integrointikokeiluihin.

5.2 Musiikin ja matematiikan teoreettinen integrointimalli

Tässä tulosluvussa esitän aiemman erittelyni (sisältäen musiikin ja matematiikan monialaiset yhtäläisyydet, aivotutkimuksen, motivaation sekä monissa tutkimuksissa ilmenneen ja opetussuunnitelmassakin [POPS & LOPS] ajankohtaisen interaktiivisen oppimisympäristön ja integrointikokeiluiden vaikutukset) pohjalta rakennetun musiikin ja matematiikan integrointimallin ja pyrin osoittamaan, miten se linkittyy ongelmanratkaisutaitojen kehittymiseen. Alaluvuissa avaan kunkin osa-alueen sisältöä, tarkoitusta ja toteuttamista hieman tarkemmin. Lopuksi erittelen, miten kukin osa-alue tukee ongelmanratkaisutaitojen kehittymistä kouluympäristössä.

MUSIIKIN JA MATEMATIIKAN INTEGROIMINEN KOULUYMPÄRISTÖSSÄ

1. **Ilmiöpohjainen ainesisältöjen kahdensuuntainen oppiminen**
2. **Emootiot ja motivaatio**
3. **Interaktiivinen oppimisympäristö**



Kuva 11. Oppijan ongelmanratkaisutaitojen kehittyminen kouluympäristössä musiikkia ja matematiikkaa integroimalla.

Mallin kolmen osa-alueen (vrt. ilmiöpohjainen ainesisältöjen kahdensuuntainen oppiminen, emootiot ja motivaatio sekä interaktiivinen konteksti oppimiselle ja positiiviset oppimiskokemukset) nousivat tutkimassani kirjallisuudessa (esim. An, Tillman, Sha-

heen & Boren, 2014; Still & Bobis, 2008; Walkington, 2013) monista näkökulmista tarkasteltuina merkittäviksi tekijöiksi integroidun oppimisen hyötyjen saavuttamisen yhteydessä. Lisäksi ne ovat tutkielmani teoreettisen viitekehyksen kannalta perusteltuja näkökulmia integrointia suunniteltaessa. Kukin osa-alue on merkittävä paitsi mallin varsinaisen tavoitteen – ongelmanratkaisutaitojen kehittymisen – suhteen myös kukin toistensa ideaalin ja rinnakkaisen toteutumisen suhteen. Esimerkiksi interaktiivinen oppimisympäristö nivoutuu vahvasti oppijan (positiivisiin) emootioihin ja oppimismotivaatioon (vrt. Pintrich, 2003) ja toisaalta ilmiöpohjaisten ainesisältöjen tarjoamien oppijoille merkityksellisten kontekstien on koettu motivoivan ja aikaansaavan positiivisia oppimiskokemuksia (vrt. An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014; Walkington, 2013). Mallin osa-alueet lomittuvat siis myös toistensa reunoille ja ovat riippuvaisia toisistaan.

5.2.1 Ilmiöpohjainen ainesisältöjen kahdensuuntainen oppiminen

Ilmiöpohjaisuus tarkoittaa tutkimuksessani maailmassa esiintyville laaja-alaisille ilmiöille ja teemoille perustuvaa pedagogista lähestymistapaa – se ylittää tarvittaessa ainerajat tai esimerkiksi kattaa pidempikestoisia ja monialaisia (oppimis)kokonaisuuksia, joiden toteuttamiseen liittyy useita oppiaineita (POPS, 2014, 31).

Kahdensuuntaisella tarkoitan musiikin ja matematiikan tasapuolista, holistista integrointia (vrt. kriittinen katsaus aiempaan tutkimukseen 1.1), jossa oppiainesisällöt nähdään yhdenvertaisina, eikä kumpaakaan ainoastaan toisen oppimisen välinearvona. Kahdensuuntaisuus heijastelee tutkimukseni valossa laaja-alaisemmin myös sitä, kuinka pelkän älykkyysosamäärän kohottaminen ei ole enää yhteiskunnankaan näkökulmasta mielekäs tai ensisijainen tavoite oppimisympäristöissä (vrt. An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014; POPS, 2014; LOPS, 2019; Rogers, 2016).

Luvussa 2 käsittelin muun muassa kahden mukaillun taulukon (kuva 1 ja kuva 2) avulla musiikin ja matematiikan yhtäläisyyksiä aineiden eri osa-alueilla – niin yhteisten ilmiöiden kuin aivotoiminnankin näkökulmasta. Aivotoiminnallinen tutkimus luo pohjan sille, miksi ilmiöiden rinnakkaista käsittelyä kannattaa harjoittaa tiettyjen aivoyhteyksien vahvistumisen ja sitä kautta niiden hahmottamisen ja ymmärtämisen kehittymisen näkökulmasta (Jensen, 2000; ABC Music & me). Kuva 4 puolestaan heijastelee sitä, kuinka musiikki ja matematiikka tarjoavat samankaltaisille ilmiöille subjektiivisen (musiikki) ja objektiivisen (matematiikka) näkökulman.

Luvussa 5.1 esitelty opettajaopiskelijoilla teetetty tutkimus (An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014) avasi lisäideoita käytännöllisempiin oppiainesisältöihin sekä niiden merkitykseen suhteessa ongelmanratkaisuun. Muun muassa näistä ajatuksista johtamalla ja *Music Of The Spheres* -artikkelin (Rogers, 2016, 47) ehdotusta mukaillemalla ainesisältöjen yhdistämistä voisi toteuttaa esimerkiksi tämänkaltaisella yleisellä, globaalilla tavalla:

TEEMA	SISÄLTÖ
Esittely: tiede ja musiikki	Ääniaallot, äänen eteneminen, frekvenssi, sävelkorkeus, yläsävelsarjat. Demoja esimerkiksi elektronisen virittimen avulla (hertsit verrattuna sävelkorkeuteen) ja yläsävelsarjan tutkiskelua eri soittimien avulla.
Pythagoras, matemaatiikka ja musiikki	Intervallit ja harmonia. Yksinkertaisten intervallien kirjoittaminen viivastolle ja niiden kokonaislukusuhteiden laskeminen (sekä tarkastaminen virittimen avulla).
Moderni Aurinkokunta	Tämänhetkinen heliosentrinen teoria: 8 varsinaista planeettaa, kääpiöplaneetat, planeettojen kiertoradat, koot ja sijoittuminen avaruudessa.
Antiikin ajan musiikillinen universumi	Geosentriset teoriat: viisi paljain silmin havaittavaa planeettaa, kuljeksivat tähdet, samakeskiset kiertoradat, planeettojen harmoniat. Pythagoras, Ptolemy.
Planeetat, sävelkorkeudet ja tähtikuviot	Kepler, Galileo, Newton. "The music of the spheres", länsimaiset ja islamilaiset teoriat, numeron 12 tärkeys astronomiassa ja musiikissa, kaikkien puhtaiden intervallien laskeminen.
Keplerin planeetat	Planeettojen kiertonopeudet suhteessa intervaleihin. Roolipelejä, sävelkorvan harjoittamista, planeettojen toiminnan tutkimista.
Newton, painovoima ja kielten viritys	Painovoima, kielten viritäminen, käänteisen neliön laki, resonanssi planeettojen ja kuiden kiertoradoilla, helioseismologia.

Kuva 12. Ehdotelma musiikin ja fysiikan ainesisältöjen yhdistelemisestä. (Mukailtu, Rogers, 2016, 47).

Rogersin alkuperäinen malli perustuu lukioikäisten osaamisen oletustasolle, mutta sitä on hyödynnetty myös nuorempien opetuksessa (Rogers, 2016). Uskon, että integroitu oppiaine on suhteellisen pienin teemamuutoksin sovellettavissa sekä perusopetukseen että lukio-opetukseen, sillä aiemmin esittelemäni tutkimukset ovat kattaneet sekä lapsia että nuoria (että nuoria aikuisia) ja koska matemaattisten ja musiikillisten ilmiöiden peruseriaatteet pysyvät samoina koulutusasteesta riippumatta.

Koska kyseinen taulukko ei ole laadittu spesifisti Suomen perus- tai lukio-opetuksen opetussuunnitelman pohjalta, tein vielä lyhyesti oman suurpiirteisen esimerkin kuvastamaan tarkemmin kotimaisia oppimisympäristöjen tarjoamia mahdollisuuksia. Valitsin omiin esimerkkeihini lukion fysiikan oppimäärän ja sen parissa käytettävät (lukio)matemaattiset työkalut musiikin oppiainepariksi, sillä se tarjoaa mielestäni monipuolisesti ja runsaasti helposti integroitavissa olevia ilmiöitä – sellaisia, joita olen esitellyt tutkielmani teoreettisessa viitekehyksessäkin.

Johdanto (integroidun oppiaineen esittelyä ja havainnointia) – Pythagoras (ja muut kyseisiä yhteyksiä tutkineet tieteilijät), aivotutkimus, jaksollisuus, kaavamaisuus, symmetria, symboliikka, lukusuhteet, subjektiivisen ja objektiivisen lähestymistavan (vrt. esim. kuva 4) esittely.

Jaksollisuus – lukujonot (esim. aritmeettinen ja geometrinen lukujono) ja niiden summat – erilaiset asteikot (duuri, molli, kirkkosävellajit/jazzmoodit ja niin edelleen) ja niiden ominaispiirteet ja käyttö musiikissa (esim. pentatoninen tai blues-asteikko, joita voi käyttää esimerkiksi bänditunnilla soolosoittamisessa).

Aaltoliike – aaltojen käyttäytyminen sekä aaltoihin liittyvät käsitteet (esimerkiksi aallonpituus, aallonnopeus, amplitudi, taajuus, seisovat aallot, interferenssi ja Dopplerin efekti) – eri instrumenttien toiminta/soittaminen, musiikinteoriaa esimerkiksi intervallien ja sointuasteiden osalta.

Äänenväri – kompleksisen aaltomuodon vaikutus äänenväriin, sinifunktio (ja muut trigonometriset funktiot), mahdollisena sovelluksena Fourierin muunnokset – äänisynteesi esimerkiksi syntetisaattorilla, yläsävelsarjat ja niiden vaikutus eri instrumenttien luontaiseen äänenväriin.

Akustiikka – (ääni)aaltojen heijastuminen ja taittuminen pinnoista – luontaiset tilakaiut ja toisaalta esimerkiksi mikserien tai äänisekvenssien tarjoamat kaikumahdollisuudet musiikissa, laulamisen fysiologia ja terve äänenkäyttö.

Logaritmien maailma – (kymmenkantainen) logaritmi, äänen intensiteettitaso – viritysjärjestelmät, sentit, äänen voimakkuus, kuulonhuolto.

Sähkö – sähkövirta, jännite, resistanssi, impedanssi, virtapiirit, kondensaattorit – sähkölaitteiden toiminta bändisoitossa, kondensaattorimikrofonit.

Sähkömagnetismi – magneetit, käämit, sähkömagneettinen induktio – dynaamisten mikrofoniin toimintaperiaate, ominaisuudet ja käyttötarkoitukset, turvalliset ja oikeaoppiset laitekytkennät, kaiuttimien toiminta.

Bändisoitto ja oma musiikki – inspiroitumista kahdesta universaalista ilmiöstä ja niiden mahdollistamaa soittamista ja laulamista yhdessä. Bii-sinkirjoittamista erilaisista lähtökohdista (esimerkiksi sanoitukset koskien maailmankaikkeutta, sointukierto pohjautuen tiettyyn lukujonoon, melodia inspiroituneena tiettyjen taajuuksien aikaansaamista hiekkakuvioista metallilevyllä).

On myös tärkeää huomioida, että integraatiolla on eri tasoja – sen ei kuulu eikä kannata olla oppiaineiden välillä ehdotonta ja kokoaikaista (Still & Bobis, 2008). Oppiaineet voivat lisäksi nähdäkseni toimia integraatioyhteydessä ajoittain ”ainoastaan” toinen toistensa inspiraationa – esimerkiksi gravitaatiosta on tehty paljon lauluja.

5.2.2 Emootiot ja motivaatio

Ainesisältöjen lisäksi toinen tärkeä luvussa 5.1 esiin noussut näkökulma matematiikan ja musiikin integrointiin ja samalla myös ongelmanratkaisutaitojen kehittämiseen on motivaatiosta lähtevä näkökulma, joka nostettiin jokaisen integrointikokeilun loppupäätelmissä esille. Motivaatiota käsittelemme tarkemmin käsitteenä tutkimukseni teoreettisessa viitekehyksessä (luku 3). Myös uusimmat peruskoulun opetussuunnitelman perusteet (2014, 17) huomauttavat, että oppilaan omat kiinnostuksen kohteet ja arvostukset ohjaavat oppilaan oppimisprosessia ja siten vaikuttavat motivaatioon. Luvussa 4 avaamas-

sani OECD 2013 -raportissa puolestaan todettiin muun muassa oppilaan motivaation, arvojen ja asenteiden olevan sidoksissa oleellisesti oppilaan ongelmanratkaisutaitoihin. Luvussa 2.1 käsittelin musiikin (ja matematiikan) vaikutuksia aivoissa ja siten myös emootioissa.

Jo pelkkä musiikin kuunteleminen aktivoi aivoalueita, joilla tunnemme mielihyvän tunteita (vrt. Blood & Zatorre, 2001; Brattico, 2019). Musiikin kuuntelemisen ja tekemisen on myös havaittu rikastuttavan oppimista korkeasti motivoivalla tavalla (Tervaniemi, 2017). Positiivisilla (ennakko)tunteilla on puolestaan suora yhteys oppijan motivaatioon oppimisprosessissa ja sitä kautta myös motivaatioon tulevaisuudessa vastaavanlaisissa oppimistilanteissa (Deci & Ryan, 2000; Nurmi, 2013; Pintrich, 2003). Motivaation tärkeys integroimisen kokonaisvaltaisen toimimisen ja siten laajemmin oppimisen yhteydessä pohjautuu siis aivotoiminnallisille tekijöille.

Motivaatiolla on havaittu olevan syvä kytkös kognitioihin – ja toisinpäin (Pintrich, 2003). Erilaisilla oppimistilanteisiin liittyvillä tunnereaktioilla ja motivaatiolla on vaikutus siihen, miten oppija jäsentelee ja omaksuu tietoa. Ongelmanratkaisulliselta (vrt. heuristinen prosessi) kannalta etenkin oppimistilanteisiin liittyvillä positiivisilla emootioilla on havaittu olevan kognitio- ja oppimisprosessia hyödyttävä vaikutus. (Pintrich, 2003, 679.)

Luvussa 3 käsittelin myös Pintrichin (2003) luomaa taulukointia oppilaiden motivoimisesta luokkatilassa. Taulukosta nousi esille muun muassa oppimistehtävien kiinnostavuuden ja merkityksellisyuden korostaminen nimenomaan oppijan näkökulmasta sekä tehtävätyyppien uudistaminen ja variointi. Nurmi (2013) esittelee (vrt. luku 3) puolestaan oppimisprosessissa tapahtuvan motivaation tapahtumakulkua ja oppijan omien emootioiden (vrt. prosessikuvauksen ennakoivat tunteet, suoriutumistunteet) sekä esimerkiksi tehtävien kiinnostavuuden merkityksen siinä, miten oppijan lähtee ratkaisemaan tehtävää sillä kertaa ja tulevaisuudessa samankaltaisissa tilanteissa sekä laajalaisemmista vaikutuksista oppijan minäkuvaan. Musiikin ja matematiikan integroimisen on havaittu kasvattavan oppijan innostusta aineita kohtaan (An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014; Still & Bobis, 2008; Walkington, 2013), millä on siis positiivinen vaikutus motivaatioon oppimisprosessissa (Nurmi, 2013).

Luvussa 5.1 esitelty Walkingtonin (2013) tutkimus osoittaa vielä käytännönläheisemmin, miten esimerkiksi teemoitetut matemaattiset tehtävät kasvattavat oppilaiden moti-

vaatiota ja siten kykyä ratkaista ne. Teemoitetut tehtävät ovat kuitenkin koko tutkimukseni valossa ainoastaan yksi hyvä esimerkki siitä, miten tarjota merkityksellisiä konteksteja ratkaistaviin tehtäviin ja ongelmiin. Integroinnin vaikutus motivaatioon oli positiivinen myös muissa tutkimuksissa, jotka käyttivät erilaisia tehtävätyyppejä (An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014; Still & Bobis, 2008; Walkington, 2013). Tehtävien vaihtelevuuden ja uudenlaisten tehtävätyyppien esittelemisen on myös koettu vaikuttavan positiivisesti motivaatioon (Pintrich, 2003). Erittelemissäni tutkimuksissa käytetyt integroidut ja motivaatioon positiivisesti vaikuttaneet tehtävätyypit voidaankin tutkimukseni valossa edelleen jakaa esimerkiksi *toiminnallisiin integroituihin tehtäviin* (vrt. esim. An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014; Still & Bobis, 2008) ja *teoreettisiin integroituihin tehtäviin* (vrt. esim. Walkington, 2013; Still & Bobis, 2008) – näen kummankin kategorian tehtävien rinnakkaisen käytön olevan motivoivaa ja mielekästä opetuksessa (vrt. Still & Bobis, 2008).

Aivotoiminnallisten ja tehtäväperustaisten tekijöiden lisäksi, kuten Tossavainen ja Juvonen (2013) osoittavat, musiikin ja matematiikan integroinnilla voi olla yhteiskunnallistemman tason positiivinen vaikutus kummankin aineen arvostukseen ja/tai motivaatioarvoon. Matematiikkaan kohdistuneen motivaation koettiin tutkimuksessa (Tossavainen & Juvonen, 2013) olevan pääasiassa oppilaiden keskuudessa ulkoista motivaatiota, kun taas musiikkiin motivoituminen lähti sisäisistä motivaatiotekijöistä. Sisäisen motivaation on havaittu olevan luovuuden, oppimisen sekä sinnikkyuden kannalta tärkein motivaatiotaso (vrt. luku 3; esim. Deci & Ryan, 2000; Nurmi, 2013).

5.2.3 Interaktiivinen oppimisympäristö

Interaktiivisella eli vuorovaikutuksellisella oppimisympäristöllä tarkoitan kyseisessä mallin kohdassa kolme oppijälähtöisyyttä sekä yhteistoiminnallista ja keskustelevaa luonnetta oppimistilanteissa, joissa opitut asiat ja opetusmuodot rakentuvat oppijan omien toiveiden ja tavoitteiden pohjalta. Lisäksi näen oppijoiden välisen yhteistoiminnallisuuden merkittävänä tekijänä osana interaktiivisuutta ja positiivisten oppimiskokemusten saavuttamista (vrt. esim. Koelsch, 2010), sillä oppijan tyytyväisyyden koulunkäyntiä kohtaan on nähty rakentuvan yksilön opettaja- ja kanssaoppijasuhteille (Eerola & Eerola, 2014, 89).

Interaktiivisuuden ja sosiaalisen oppimisympäristön merkitys esiteltiin tutkielmassani jo luvussa 2.1.2: Emotionaalisista vaikutuksistaan johtuen musiikilla on aivotoiminnalli-

sin(kin) perustein tärkeä merkitys myös ihmisten yhteistoiminnallisuudessa, sillä se korostaa yhteenkuuluvuuden tunnetta sekä ryhmäponnistuksien tärkeyttä yhteismusisoinnin kontekstissa (Koelsch, 2010; Koelsch, 2011). Musiikin opiskelun on todettu tuottavan paljon sosiaalisia hyötyjä – erään tutkimuksen mukaan laajemman musiikin oppimäärän opiskelleet olivat tyytyväisempiä kouluun sekä kokeneet oppimisilmapiirin positiivisempana kuin normaalin musiikin oppimäärän opiskelleet (Eerola & Eerola, 2014).

Lisäksi Koelschin (2010) mukaan musiikin tekeminen kytkeytyy automaattisesti sosiaaliseen kognitioon ja siten edesauttaa yksilöiden välisten tunnetilojen yhtenäistymistä ja ymmärtämistä. Musiikin avulla voidaan luoda kiintymyssuhteita toisiin, ja musiikin tekemisestä kumpuava yksilöiden synkronoitu liikekoordinaatio ryhmässä yhdistetään mielihyvään. (Koelsch, 2010, 132.) Parhaimmillaan integroidussa oppiaineessa tämä yhteistoiminnallisuus ja positiiviset kokemukset oppimisympäristöstä voisivat ulottua myös musiikkia laajemmalle – matematiikkaan ja yleisemmin ilmiöpohjaisten ongelmatilanteiden ratkaisuun.

Kuten luvussa 5.1 esitellyssä tutkimuksessa havainnollistettiin, opettajan konstruktiviselle oppimiskäsitykselle pohjautuva oppijalähtöinen opetusmetodi koettiin tutkimuksen yhteydessä tärkeänä tekijänä suhteessa integroidun opetuksen hyötyihin. Oppimistilanteen interaktiivinen ja oppijan keskusteleva osallistuminen opetukseen auttoi aikaansaamaan positiivisia oppimistuloksia ilmiöpohjaisen opetuksen yhteydessä. (Still & Bobis, 2008.)

Fordin motivaatioteoria korostaa juuri tätä ympäristön tuen merkittävyyttä suhteessa siihen, miten yksilö motivoituu ja onnistuu tavoitteessaan (Ford, 1992). Lisäksi välillisesti esimerkiksi seuraavat Pitrichin (2003) esittelemät ohjeistukset luokkatiloihin (kuva 9) kannustavat opettajia luomaan interaktiivista, keskustelevaa ja kannustavaa oppimisympäristöä. Vaikka kyseisessä artikkelissa ne nähdään työvälineiksi nimenomaan motivaation herättämiselle (vrt. mallini kohta 2), koen, että interaktiivisuuden tarjoamat positiiviset vaikutukset ulottuvat yhteisvaikutuksellisesti motivaation kautta aina pidemmälle integroituun ongelmanratkaisuun ja mallin tavoitteen saavuttamiseen.

Tarjota mahdollisuuksia oppilaiden omaan valintaan ja kontrolliin.

Käytä hallintorakenteita, jotka rohkaisevat oppilaitakin henkilökohtaiseen ja yhteisölliseen vastuunkantoon ja luovat turvaa, mukavuutta ja ennustettavuutta ympäristöön.

Luokkahuoneessa käydyn keskustelun tulisi keskittyä opittavien asioiden tärkeyteen ja käyttökelpoisuuteen.

Suosi yhteistoiminnallisia ja yhteistyöhön perustuvia ryhmätehtäviä, jotka mahdollistavat sekä akateemisten että sosiaalisten tavoitteiden saavuttamisen.

Luokkahuoneessa käydyn keskustelun tulisi keskittyä oppitunnin sisällön hallintaan, oppimiseen ja ymmärtämiseen.

Musiikin ja matematiikan integroiminen kouluympäristössä tarjoaakin tutkimukseni näkökulmasta normaalista ja totutusta poikkeavia mahdollisuuksia opetuksen oppijalähtöisyydelle, interaktiivisuudelle sekä yhteistoiminnallisuudelle. Kun opetus lähtee aineille yhteisistä, laaja-alaista tietämystä vaativista ilmiöistä ja oppiminen muotoutuu sen yhteydessä jonkin uuden kiinnostavan havainnon tai näkökulman tutkimiseksi, pohtimiseksi ja ymmärtämiseksi, jokaisen ilmiön aspektin pohtiminen ääneen sekä opitusta keskusteleminen muiden oppijayhteisön jäsenten kanssa nousevat keskeiseksi ja tärkeäksi osaksi koko oppimis- ja opetusprosessia.

5.2.4 Yleisten ongelmanratkaisutaitojen kehittyminen mallin toteuttamisen yhteydessä

Oppiaineiden integroimisen hyödyiksi on muun muassa havaittu oppilaan holististen ajattelutaitojen kehittyminen, aineidenvälisten yhteyksien tunnistaminen, uudenlaiset ja innostavat oppimiskokemukset, mahdollisuudet luovuudelle, motivaation kohoaminen sekä sosiaalisten taitojen kehittyminen lisääntyneen interaktiivisuuden kautta (An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014, 150). Näillä kaikilla on merkitys tutkimukseni valossa ongelmanratkaisutaitoihin (luku 4) ja niiden kehittymiseen.

Jo vuonna 1985 Mathematics Framework listasi opettajille luokkatilanteisiin seuraavallaiset ohjeet:

1. Mallinna ongelmanratkaisullista käyttäytymistä aina kuin mahdollista, tutkien ja kokeillen oppilaiden kanssa.

2. Luo luokkatilaan ilmapiiri, jossa kaikki oppilaat tuntevat olonsa mukavaksi ja siten uskaltavat kokeilla uusia ideoita.
3. Pyydä oppilaita selittämään ajatteluaan ongelmanratkaisun joka vaiheessa.
4. Salli useat erilaiset ratkaisut samalle ongelmalle ja se, että ongelma saattaa vaatia uudenlaisia lähestymistapoja.
5. Esittele ongelmatilanteita, jotka muistuttavat todellisia tilanteita, jotta oppilaiden saamat ratkaisukokemukset ovat siirrettävissä toisiin konteksteihin.

(Schoenfeld, 1992, 365.)

Vuoden 1991 versio Frameworksista tarkensi edelleen, että matematiikan oppikokonaisuuksia tulisi oppiaineen sisällä integroida toisiinsa, eikä esitellä erillisinä kokonaisuuksina. Lisäksi opettajille ehdotettiin teoksessa oppilaiden välistä yhteisöllistä työskentelyä. Tällaiset sosiaaliset ja integroidut kokonaisuudet motivoisivat oppilaita ongelmanratkaisuun tarjotessaan entistä merkityksellisempiä ongelmia. (Schoenfeld, 1992, 365.)

Vaikka kyseisten teosten suositus integroida oppisisältöjä ongelmanratkaisullisistakin syistä ulottuu yhden oppiaineen (matematiikan) sisälle, koen, että esitetyt mahdolliset vaikutukset ovat hyvinkin samankaltaisia kuin eri oppiaineiden väliset (ilmiöpohjaiset) vaikutukset yleisten ongelmanratkaisutaitojen kehittymiseen. Lisäksi sosiaalisen ja siten interaktiivisen kontekstin (vrt. mallini kohta 3) ja motivaation heräämisen merkitys (vrt. mallini kohta 2) yhteydessä ongelmanratkaisuun ja oppimiseen on huomioitu jo tuolloin integrointiajatuksen yhteydessä – opittuja ilmiöitä on helpompi eritellä, analysoida ja pohtia, kun on turvallinen ja avoin oppimisyhteisö, jonka jäsenten kanssa jakaa ajatuksia ja tunteita (vrt. esim. Schoenfeld, 1992).

Myös aiemmin (luku 4) tarkastelemani Pisa 2012 –tutkimusraportti (OECD, 2013) koostaa, että ongelmanratkaisukykyä voidaan kehittää korkealaatuisella opetuksella. Progressiiviset opetusmenetelmät, kuten ongelmanratkaisuun keskittyvä opetus, tutkimusperustainen opetus ja yksilö- ja ryhmäprojektityöt edistävät aiheen syvempää ymmärrystä ja valmistavat oppilaita soveltamaan tietoaan uudellisissa tilanteissa. Hyvätasoinen opetus koostuu itsesäädellystä oppimisesta (vrt. interaktiivisuus), metakognitiosta ja ongelmanratkaisukykyä kehittävästä kognitiivisista prosesseista. Se valmistaa oppilaita järjeistämään aiemmin tuntemattomia tilanteita tehokkaammin sekä täyttämään tietämyksensä aukkoja tarkkailemalla, tutkimalla sekä interaktion avulla. (OECD, 2013.)

Progressiivisiksi raportissa nimetyt opetusmenetelmät – ongelmanratkaisukeskeinen opetus, tutkimusperustainen opetus sekä yksilö- ja ryhmätason projektituotoiset työt – ovat

tutkimukseni valossa kaikki keskeisiä tai ainakin mahdollisia opetusmetodeja myös mallini mukaan integroidussa opetuksessa (vrt. esim. An, Tillman, Shaheen & Boren, 2014; Still & Bobis, 2008; Walkington, 2013). Ryhmätason projektiluontoiset työskentelytavat heijastelevat mallini interaktiivista oppimisympäristöä, kun taas ongelmanratkaisu- ja tutkimusperustaisuus on luonnollisesti esillä ihan jo ainekokonaisuuksia yhdistellessä (vrt. jo olemassa olevan tiedon siirtäminen uudelleenlaiseen kontekstiin, OECD, 2013). Tiedon soveltaminen uudellisissa tilanteissa nostetaan yhdeksi tärkeäksi tavoitteeksi, mikä on myös ongelmanratkaisukeskeisyyden, ilmiöpohjaisuuden ja siten integroidun opetuksen kannalta tiiviisti opetuksen keskiössä (vrt. esimerkiksi matematiikan logaritmeja tarkastellaan musiikin äänenvoimakkuuden kontekstissa).

Tämän soveltamisen lisäksi ilmiöpohjaisten ainesisältöjen ideaali yhdistäminen (mallin kohta 1) tarjoaa opittaville asioille integroimattomaan opetukseen verrattuna monipuolisempia, laajempia ja monesti motivoivampia (vrt. Walkington, 2013) tosielämän konteksteja. Kuten luvussa 4.1 lyhyesti käsitelinkin matemaattisen ongelmanratkaisun mallin yhteydessä (OECD, 2013), juuri nämä tosielämän kontekstit ovat keskeinen osa ongelmanratkaisuprosessia ja sen etenemistä – ne luovat oppimiselle ja opiskeltaville asioille konkreettisen tarkoituksen, tavoitteen ja puitteet, joissa ratkaisua voidaan hyödyntää ja arvioida (OECD, 2013). Nämä konkreettiset kontekstit, tarkoitukset, tavoitteet ja tarkastelupuitteet linkittyvät myös mallini kohtaan 2 – emootioihin ja motivaatioon (vrt. esim. luku 3; Pitrich, 2003; Nurmi, 2013).

Jos tarkastellaan oman teoreettisen integrointimallini (kuva 11) suhdetta luvussa 4 esittelemääni PISA:n yleiseen ongelmanratkaisuprosessiin (OECD, 2013), voidaan malleja ja sitä, miten integrointimallin toteuttaminen tukee yleistä ongelmanratkaisuprosessia, peilailta toisiinsa esimerkiksi näin:

Esimerkkitehtävänä hahmottamisavuksi teoreettista tietämistä vaativa toiminnallinen integroitu tehtävä (vrt. 5.2.2): *Annettuun kappaleeseen sopivan mahdollisimman autenttisen soundin luominen käyttäen musiikkiteknologista (laite)osaamista ja matemaattista tietoutta ääniaaltojen käyttäytymisestä, eri aaltomuodoista ja äänisynteeseistä apuna prosessissa.*

Tutkiminen ja ymmärtäminen – Musiikille ja matematiikalle yhteisen ilmiön (vrt. tietyn soundin luominen) havaitseminen ja tarkastelu: mitä pitää ratkaista, mitä eri näkökulmat kertovat tietystä ratkaistavasta ongelmasta, mitä jo tietää ratkaistavasta ongelmasta, ovatko aiempi tietämys ja uusi tieto ristiriidassa keskenään vai ei? Integroidun

oppiaineen tarjoamien ainerajat ylittävien laaja-alaisten mahdollisuuksien havainnointi ja tunnistaminen ja toisaalta sen ymmärtäminen, koska kannattaa ammentaa enemmän toisen aineen näkökulmasta edes muodostaakseen ratkaistavissa oleva ongelma. Omien tilanteeseen liittyvien tiedonpuutteiden ja esteiden tunnistaminen ja tunnistaminen.

Vrt. Mitä tiedän ääniaalloista ja aaltomuodoista? (vrt. esim. taajuus, äänen nopeus, amplitudi. Äänenvoimakkuus. Akustiikka. Siniaallot, sahaaallot, kanttiaallot, kohina, kolmioaallot.) Mitä tiedän aaltomuotojen eri äänensävyistä? (vrt. esim. kumeus, säröisyys, puhtaus jne.) Miksi ne kuulostavat siltä, miltä kuulostavat? (vrt. esim. yläsävelsarja, äänen spektri, Fourierin analyysi) Millainen on annettu kappale äänimaailmaltaan eli minkälainen soundi sopii kyseiseen kappaleeseen? (vrt. esim. musiikillinen tyylitietous ja hahmotuskyky sekä kyky musiikilliseen ilmaisuun ja toteutukseen) Mitä tekijöitä/ilmiöitä pitää ottaa huomioon?

Esittäminen ja muodostaminen – Ongelmasta aineiden (näkökulmien) integroinnin kautta muodostettu uusi holistinen näkökulma ja sen (mentaalinen) esittäminen halutussa tai järkevässä muodossa. Mikä informaatio kaikesta tiedetystä kummankin alan eli koko ilmiön näkökulmasta on relevanttia juuri annetun ongelman kannalta, miten olemassa oleva tieto kannattaa jäsenellä suhteessa mahdollisesti aivan uuteen kontekstiin?

Vrt. Osaanko luoda jonkinlaisen kokonaiskäsityksen ja hypoteesin siitä, mitä suunnilleen tulee tapahtumaan, jotta saan soundin luotua? Mitä eri vaiheita luomisprosessi tulee pitämään sisällään ja mitä tietoa tarvitsen missäkin vaiheessa? (esim. ”En (välttämättä) tarvitse Fourierin analyysia ja muunnoksia konkreettisesti luodessani musiikkiteknologisin apuvälinein uutta soundia, mutta syvälinen tietämys auttaa tapahtumien syiden ja seurausten hahmottamisessa.”)

Suunnittelu ja toteutus – Annettuun musiikkimatematiikkatehtävään liittyvän kokonaistavoitteen selkeyttäminen sekä sen jakaminen tarvittaviin alaosiin kummankin osa-alueen näkökulmasta erikseen ja yhdessä. Kouluympäristössä tavoitteiden realistinen aikatauluttaminen (onko kyseessä yhden tunnin tehtävä vai pidemmän ajan tehtävä?). Tarvittavien musiikkilaitteiden (esim. instrumentit, tietokoneohjelmat) ja toisaalta matemaattisten työvälineiden (tarvitseeko jotain laskea tai muuten hahmottaa matematiikan/fysiikan näkökulmasta, jotta tavoitteet onnistuvat) selvittäminen. Tehtävän varsinainen toteutus alusta loppuun.

Vrt. Kuinka paljon tarvitsen referenssiä alkuperäisestä soundista, jotta sisäistän, miltä se kuulostaa? Mitä voisin kuunnella? Mitä konkreettisia työkaluja tarvitsen, haluan ja on mahdollista käyttää soundin luomiseen (esim. mitä ohjelmaa/laitetta/soitinta käytän (vrt. (analoginen tai digitaalinen) syntetisaattori, GarageBand, LogicPro, muu)? Mitä vaiheita soundin luominen pitää sisällään (mitä valitsemani ohjelma/laitte/soitin tarjoaa valmiiksi ja mitä pitää itse tehdä)? Missä järjestyksessä ja kuinka pitkällä aikavälillä ne (vaiheet) kannattaa tehdä? Voinko käyttää aikaa enemmän itselleni vaikeisiin aiheisiin ja tutkia niitä enemmän? Soundin luominen käyttäen apunaan kaikkea yllä mainittua.

Monitorointi ja reflektointi – Omien toimien ja valintojen monitorointi ja muokkaaminen kussakin annetun integroidun oppiaineen tehtävän ratkaisemisessa. Mitä voi oppia prosessista ja lopputuloksesta tulevaisuutta ajatellen, jos vaikka seuraavalla viikolla on samantapainen tehtävä? Missä onnistuin tänään ja tässä tehtävässä ja miksi?

Vrt. Mitä olen tekemässä kussakin vaiheessa soundin rakentamista – olenko menossa oikeaan suuntaan vai en? Pitäisikö välissä palautella mieleen alkuperäinen kappale? Mitä olisin voinut tehdä paremmin? Onko lopullinen soundi sellainen kuin se on alkuperäisessä kappaleessa ja siten tehtävänannon mukainen? Jos ei, missä kohtaa voisin tehdä (olisoin voinut tehdä) toisin saadakseni autenttisemman soundin? Haittaako se, että soundi on erilainen? Onko aikaansaatu soundi alkuperäistä parempi? Sopsisiko se johonkin toiseen kappaleeseen tai vaikka omaan uuteen sävellykseen?

(Ja lopuksi: Pitäisikö säveltää uusi kappale lähtökohtana tämä itse tekemäni soundi?)

Motivaatio ja emootiot ongelmanratkaisuprosessissa

Esimerkkitilanteessa annettu kappale jo kuunteluvaiheessa aktivoi aivojen tehtävän ratkaisemisen ja siitä korkean tason motivoitumisen (Tervaniemi, 2017) kannalta oleellisia aivoalueita (luku 2.1). Kappale saattaa herättää esimerkiksi ilon tai surun tunteita tai palauttaa itselle tärkeään menneisyyden hetkeen – pelkkä kuuntelukokemus saattaa avata ongelmanratkaisunkin kannalta tärkeitä ja merkittäviä näkökulmia. Motivaation ja emootioi-

den kannalta merkittävää on tilanteen tarjoama uusi konteksti (vrt. *aaltojen ja äänen perusteet äänisynteesin ja edelleen musiikin tuottamisen kontekstissa*), mahdollisesti uudenlainen tehtävätyyppi. Motivaatio tällaisessa tilanteessa syntyy halusta ja kyvystä pystyä soveltamaan aiemmin opittua tietoa, hankkimaan tarvittavaa uutta tietoa ja integroimaan ne keskenään uuteen kontekstiin ratkaistakseen annettu ongelma (vrt. Nurmi, 2013; Pitrich, 2003). Sitoutuneisuus tehtävän ratkaisemiseen motivaation kautta on tärkeä tekijä koko ongelmanratkaisuprosessin ja sen onnistumisen yhteydessä (OECD, 2013).

Vrt. Mitä positiivisia/negatiivisia tunteuksia tämä kappale herättää, kun kuuntelen sitä? Mihin tunteet perustuvat (musiikilliset elementit, muistot, esteettinen arvo jne.)? Onko kappale inspiroiva? Uskonko pystyväni tehtävään? Jos en, miksi ja miten sen voisi muuttaa? Olenko tehnyt tällaista aiemmin? Jos, mitä tunteuksia minulle siitä jäi? Haluaisin-ko tehdä tämän tehtävän jopa aiempaa paremmin? En olekaan aiemmin pohtinut aaltomuotoa kuunnellessani kappaleessa olevaa soundia – uusi, innostava maailma.

Interaktiivisuus ongelmanratkaisuprosessissa

Esimerkkitehtävän kaltaisessa tilanteessa olisi mielestäni ehdotonta, että luokkatilassa ja oppimisympäristössä olisi vapaa, turvallinen ja keskusteleva, interaktiivinen ilmapiiri (vrt. Schoenfeld, 1992). Kussakin ongelmanratkaisuprosessin yllä tarkemmin avatussa vaiheessa auttaa, kun kysyy kysymykset ääneen, saa niihin apua ja vastauksia ja voi tarjota vastavuoroisesti apuaan ja omaa tietouttaan toisille. Integroidussa oppiaineessa ja siihen liittyvissä ongelmatilanteissa sen ratkaisemiseen tarvittava tietomäärä on usein niin suuri ja laaja-alainen (vrt. 5.2.1), että yksilöllisen tietämyksen rajat tulevat helposti vastaan – tällöin jo pelkkä ennakoitunut lähestyvistä epäonnistumisesta toimii motivaatiota ja siten tehtävän ratkaisemisen onnistumistodennäköisyyttä alentavana tekijänä (Nurmi, 2013). Musiikin kuuntelemisen, tekemisen ja tuottamisen läsnäolo sekä niiden aikaansaama yhteistoiminnallisuuden ilmapiiri (vrt. esim. Koelsch, 2010) tehtävän tekemisen yhteydessä voi parhaimmillaan niin ikään avittaa ongelman ratkaisemisessa.

Tarjota mahdollisuuksia oppilaiden omaan valintaan ja kontrolliin.

Oppijoiden voi antaa esimerkitapauksen tilanteessa valita vapaasti tapa, jolla toivottu soundi luoda – lähtekö täysin alusta esimerkiksi luokkahuoneen syntetisaattorin avulla määrittämään soundin peruspiirteitä, vai käyttääkö lähtökohtanaan olemassa olevia äänimalleja. Opettaja voi korostaa, kuinka kumpikin vaihtoehto on yhtä arvokas – kumpikin vaihtoehto ratkaisee tilanteeseen liittyvän ongelman.

Luokkahuoneessa käydyn keskustelun tulisi keskittyä opittavien asioiden tärkeyteen ja käyttökelpoisuuteen.

Oppimisympäristössä voidaan keskustella laajemmin musiikissa käytettävistä soundeista, niiden luomisesta, niiden herättämistä tunteista ja mielikuvista sekä toisaalta aaltomuotojen matematiikasta – siitä, missä muissa konteksteissa kyseisen kaltaisia ongelmia saattaisi joutua ratkaisemaan.

Suosi yhteistoiminnallisia ja yhteistyöhön perustuvia ryhmätehtäviä, jotka mahdollistavat sekä akateemisten että sosiaalisten tavoitteiden saavuttamisen. / Käytä hallintorakenteita, jotka rohkaisevat oppilaitakin henkilökohtaiseen ja yhteisölliseen vastuunkantoon ja luovat turvaa, mukavuutta ja ennustettavuutta ympäristöön.

Jos tehtävätilanteessa ei itse muista, miltä eri aaltomuodot kuulostavat, eikä siitä johtuen osaa hahmottaa, mitä niistä tarvitsisi toivotun soundin luomiseksi, voi ajatella jakavansa oman tietämyksensä luokkahuoneen syntetisaattorin käyttämisestä oppijakaverilleen, joka voisi täyttää puolestaan tietoaukkoja aaltomuodoista. Samalla tilanne parhaimmillaan mahdollistaa sosiaalisen ympäristön tarjoaman tuen ja kannustuksen kokemuksen (vrt. Aarnio, Autio, Jämsä, Nieminen & Suomalainen, 2016).

Luokkahuoneessa käydyn keskustelun tulisi keskittyä oppitunnin sisällön hallintaan, oppimiseen ja ymmärtämiseen.

Opettaja voi tilanteessa auttaa oppijoita reaaliajassa tilanteessa, jos oppijoilla on turvallinen ympäristö sanoittaa ongelmansa ja toisaalta onnistumisensa ja yleiset ajatuksensa ääneen ja kertoa, mitä itse haluavat saada aikaan ja lopulta oppia – mitä ovat oivaltaneet ja ymmärtäneet tehtävän edetessä.

Näenkin integrointimallini kokonaisuudessaan tarjoavan ongelmanratkaisutaitojen kehittymiselle esimerkiksi uudentlaisia tilanteita sekä ilmiöitä, joissa aiempaa tietoa tulee käyttää uudella tavalla ja soveltaa uuteen tietoon sekä vaihtelevia ja siten motivoivia tehtävätyyppejä ja konteksteja ongelmanratkaisulle. Lisäksi näen mallin tarjoamien oppimisprosessiin liittyvien hyötyjen pohjautuvan aina aivotoiminnallisiin tekijöihin asti, sillä integroitu musiikkimatematiikka tarjoaa ongelmanratkaisun kannalta oleellisia ai-voalueita aktivoivaa ja niitä (alueita) siten kehittävää toimintaa. Koen interaktiivisen – keskusteleavan ja turvallisen – oppimisympäristön olevan keskiössä mallin toimimisen yhteydessä.

6 Johtopäätökset ja pohdinta

I see my life in terms of music. (Einstein)

Tutkimukseni valossa koen, että kouluympäristöön suunnitellun teoreettisen integrointimallini kaikki osa-alueet huomioiden voidaan parhaimmillaan saavuttaa oppijan yleisten ongelmanratkaisutaitojen kehittyminen koulukontekstissa. Mallin kokonaisvaltaisen toteuttamisen tulisi tavoitteen mahdollisen toteutumisen sivussa lisätä opetuksen interaktiivisuutta ja oppijalähtöisyyttä, tutustuttaa oppijat maailman ilmiöihin samaan aikaan monesta erilaisesta ja silti keskenään yhtä arvokkaasta näkökulmasta luoden ratkaistaville tehtäville ja ongelmille käytännöllinen ja merkityksellinen konteksti sekä vaikuttaa positiivisesti oppijan motivaatioon ja sitä kautta oppimiseen ja minäkuvaan. Perusteet nimenomaan musiikin ja matematiikan laajoille ja monipuolisille integrointimahdollisuuksille näen sekä aivotoiminnallisissa seikoissa että kahden aineen jakamisissa lukuisissa yhteisissä ilmiöissä ja ilmiöpohjaisissa aineellisissa sisällöissä (vrt. luku 2). Ongelmanratkaisutaitojen nähdään puolestaan olevan avaintekijä siinä, miten ihminen kehittyy ja kasvaa osaksi yhteiskuntaa – yhtäältä kestävästä kehitystä eteenpäin vieden ja toisaalta toisten ihmisten rinnalla toimien kykenemällä luovaan ja kriittiseen ajatteluun, muutoksen hallintaan sekä työelämässä menestymiseen (vrt. OECD, 2013; OPH, 2019; LOPS, 2019).

Näen mallini mukaisen oppiaineiden integroinnin parhaimmillaan tutkimukseni valossa tarjoavan ongelmanratkaisutaitojen kehittymiselle muun muassa:

1. Ongelmanratkaisun kannalta oleelliset aivoalueet aktivoivaa ja niitä kehittävää toimintaa
2. Tilanteita, jossa aiempaa tietoa tulee käyttää uudella tavalla ja soveltaa uuteen tietoon
3. Vaihtelevia, uudenlaisia ja motivoivia ongelmanratkaisukonteksteja ja tehtävätyyppejä

4. Keskustelevan, yhteenkuuluvuutta korostavan ja turvallisen oppimisympäristön ongelmien ratkaisemiselle

Koen tärkeänä painottaa, ettei mallini perustu itseisarvollisesti yleisen älykkyysosamäärän parantamiselle tai positiivisten tulosten tavoittelulle matemaattisia osa-alueita mitaavissa testeissä, sillä kirjallisuuskatsauksen valossa en näe sitä mielekkäänä (vrt. Eerola, 2014; Rogers, 2016). Mallini keskiöön valikoituivat tästä syystä oppijan yleisten ongelmanratkaisutaitojen kehittyminen niin ainesisältöjen kuten oppijan emootioiden ja motivaation sekä oppimisympäristön interaktiivisuuden näkökulmasta.

Kun aloin tehdä tutkielmaani, en ollut vielä ollenkaan varma, millaiseksi lopullinen teoreettinen mallini muodostuu tai millaisen mallin edes kokisin olevan hyödyllisin. En tiennyt, keskitynkö teoreettisessa mallissani ennemminkin ja tarkemmin musiikin ja matemaattisten aineiden ainesisältöjen ideaaliin integroimiseen, vai onko tavoitteenani laajempi, muitakin oppimisen аспекteja huomioiva malli. Aika pian kirjallisuutta kerättyäni ja luettuani ymmärsin, että ideaalein oppiaineiden integroiminen, joka voi parhaimmillaan johtaa johonkin laajempaan hyötyyn (tutkielmassani ongelmanratkaisutaitojen kehittyminen), perustuu pitkälti paljon syvemmille tekijöille (vrt. motivaatio, emootiot, yhteistoiminnallisuus) kuin pelkille konkreettisille oppiainesisältöyhdistelmille. Sisällöt ja ilmiöt ovat toki tärkeä ja oleellinen osa integroimista, minkä vuoksi yritin avata niiden tarjoamia mahdollisuuksia myös mahdollisimman tarkoin, mutta nähdäkseni oikein yhdisteltynä ainesisällöt toimivat leikkikenttänä, jolla toisten oppijoiden kanssa kokeillessa ja tutkiessa voi motivoitua, inspiroitua ja ymmärtää asiat itseä koskettavalla ja edelleen kehittäväällä tasolla.

Motivaatio nousi heti tutkimustyöni alussa yhdeksi lukemani tutkimuskirjallisuuden keskeisimmistä käsitteistä, vaikka en ollut alun perin tutkimusta suunnitellessani ja rakentaessani osannut olettaa sitä pääasiallisena tekijänä – tai ainakaan mallin kannalta keskeisimpänä sellaisena. Oma motivaationi tutkimuksen tekemiseen lähti siis alun perin ainesisältöjen yhdistelemismahdollisuuksista. Kuitenkin pian monissa lukemissani ja tässäkin tutkielmassa referoimissani tutkimuksissa motivaatio nousi esille paitsi kaikenlaisen oppimisen punaisena lankana niin myös suhteessa siihen, miksi integrointi on ylipäättään nähty kannattavana ja siihen, miten integrointi vaikuttaa ongelmanratkaisutaitojen kehittymiseen. Kuten luvussa 3 käsittelin, motivaatio on oppimisen (ja kehittymisen) kannalta oleellinen tekijä. Parhaimmillaan motivaation kautta saavutetut tavoitteet parantavat omaa minäkuvaa ja luovat pohjaa seuraaville tilanteille ja siten koko

elämälle. Lisäksi on havaittu, että monet oppimista edistävät keinot (vrt. aineiden integroiminen) ovat tehokkaita ainoastaan silloin, kun oppija on motivoitunut (Nurmi, 2013, 548).

Malliin muotoutui lopulta vielä kolmas kohta – oppimistilanteiden interaktiivisuus ja sen kautta ja/tai muuten saavutetut positiiviset oppimiskokemukset. Mietin pitkään, otanko sen malliin erillisenä kohtana vai osaksi mallin kohtaa 2 (emootiot ja motivaatio), sillä interaktiivisuus on merkittävä osa oppijoiden oppimismotivaation yhteydessä (Ford, 1992; Pintrich, 2003) – samoin luonnollisesti positiiviset oppimiskokemukset. Halusin kuitenkin nostaa oppimistilanteiden interaktiivisuuden omaksi yhtä arvokkaaksi tekijäksi muiden rinnalle, sillä mallini sijoittuu nimenomaan kouluympäristöön ja oppijälähtöisyyden, keskustelun sekä yhteistoiminnallisuuden merkitys oppimisessa nousi monissa tutkimuksissa keskiöön. Myös jo johdantoluvussa sivuamani opetussuunnitelmien perusteet (POPS, 2014; LOPS, 2019) käsittelevät interaktiivisuutta osana kouluympäristöä, joten koin tämän aspektin erikseen esille nostamisen olevan myös erittäin ajankohtaista. Lisäksi koen, että mallini eri kohdat joka tapauksessa sitoutuvat ja lomittuvat toisiinsa vahvasti palapelin kaltaisesti. Malli ei ole täydellinen ilman kunkin kohdan tasapainoista toteutumista, ja kunkin kohdan sisällä toteutuvat tai toteutumatta jäävät tekijät heijastuvat suoraan toisiin mallin osiin.

Jo olemassa olevaa kirjallisuutta eritellessäni huomasin, että pitkään itsekkin kokemani molemminpuolinen hyöty musiikin ja matematiikan välillä on sidoksissa mielestäni näkyvästi juuri ongelmanratkaisutaitojen kehittymiseen. Termi ei kaikissa lukemissani ja erittelemissäni tutkimuksissa esiintynyt suoraan, mutta koin sen usein silti piilevän lähes kaikissa niissäkin rivien välissä. Samaa ilmiötä käsiteltiin lukemissani tutkimuksissa useilla eri termeillä (vrt. esim. tiedon palauttaminen muistista, aiemman tiedon käyttäminen uudessa kontekstissa, aika-avaruudellinen ajattelukyky, looginen ajattelukyky, kognitioiden kehittyminen, tiedonjäsentelytapojen monipuolistuminen). Tutustutuani lähemmin ongelmanratkaisutaidoista tehtyyn kirjallisuuteen, näin, että se on kattava termi kuvaamaan suurinta osaa monissa näissä tutkimuksissa esiintyneistä hyötyvaikutuksista.

Kandidaatintutkielmani (Kaperi, 2017) käsitteli hyvin paljon samoja teemoja kuin maisterintutkielmani, mutta sillä oleellisella erolla, että maisterintutkielmassani halusin johdattaa musiikin ja matematiikan yhtäläisyyksien tarkasta käsittelystä ja analysoimisesta jotain aivan uutta (vrt. teoreettinen malli). Ongelmanratkaisutaitojen kehittyminen nousi

tutkimuksessani tietynlaiseksi heijastuspinnaksi, jota päätin yrittää kuljettaa systemaattisesti läpi tutkielman mukana. Pyrin käsittelemään kaikkia tutkielmani käsitteitä ja teemoja pitäen mielessäni ongelmanratkaisutaidot ja jos en suoranaisesti aina itse termiä, niin ainakin niiden (taitojen) kehittymisen kannalta oleelliset näkökulmat. Johdantoluvussa lainaamani Nurmen (1992) mukainen systemaattisen analyysin synteettinen tehtävä tiivistyikin lopulta tutkielmassani juuri tähän: kahta eri aihepiiriä (musiikki ja matematiikka) erittelemällä ja analysoimalla ja niitä oppimisprosessiin tiiviisti sidoksissa olevan motivaation kautta suodattamalla pyrin luomaan uudenlaisen ajatusmallin nimenomaan suhteessa ongelmanratkaisutaitojen kehittymiseen. Tehtävä tuntui ajoittain hyvinkin haastavalta, moniulotteiselta ja todella laaja-alaiselta ja koen, että sitä voisi ja pitäisi tulevaisuudessa käsitellä vielä paljon tarkemmin.

Tervaniemi ja Putkinen (2019, 556) toteavat, kuinka tutkimus siitä, kehittääkö musiikki yleistä oppimista ja akateemisia taitoja suoraan vaikuttaen tärkeisiin kognitiivisiin toimintoihin vai ennemminkin epäsuorasti kasvattamalla motivaatiota ja sitoutuneisuutta oppimistilanteisiin, nähdään tarpeellisena. Koin tärkeänä kuljettaa tutkielmassani kumpaakin mahdollista näkökantaa rinnakkain. Tutkielmani alussa mainitsemani holistinen näkökulma musiikin ja matematiikan integrointiin laajeni siis tutkimusta tehdessäni tarkastelemaan kahdensuuntaisen ainesisältöisen integroinnin suhdetta koko (motivoivaan ja interaktiiviseen) oppimisprosessiin, sillä näin sille teoreettisessa lähestymistavassa enemmän perusteita ja mielekkyyttä. Spesifejä ainesisältöjä on mielestäni ehdottomasta tarkastella käytännössä oppimisympäristöissä, mutta yleismaailmallisempi malli sille, mitä kaikkea tulisi ottaa huomioon, jotta integroinnilla voisi saavuttaa halutun lopputuloksen ja hyödyn, voi lähteäkin aluksi teorian näkökulmasta.

Koska tutkielmani on teoreettinen, koin erityisen tärkeäksi määritellä, esitellä ja eritellä mahdollisimman monipuolisesti ja yksityiskohtaisesti musiikin ja matematiikan yhtäläisyyksiä niin aivotoiminnan näkökulmasta kuin yhteisten ilmiöiden kannalta. Halusin edetä tutkielmassani pikkuhiljaa sekä mahdollisimman systemaattisesti ja perusteellisesti kohti tuloslukua (varsinaista mallia) siten, että kukin luku ja alaluku olisi aihetta syventävä tai avartava askel kohti tekemiäni johtopäätöksiä. Toivon, ettei teoreettinen viitekehys kuitenkaan lukijan näkökulmasta karkaa varsinaisesta tähtäimestä liian kauas, sillä ratkaisu oli mielestäni erittäin oleellinen tutkielmani tarkkuuden ja johtopäätösteni paikkansapitävyyden kannalta. Lisäksi koen myös erittäin tärkeäksi painottaa, että –

kuten monista tutkimuksistakin kävi ilmi – integroinnin ei tarvitse eikä sen edes kannata olla totaalista ja kokoaikaista (vrt. Still & Bobis, 2008).

Esimerkiksi An, Tillmanin, Shaheen ja Boren (2014) taulukoivat tutkimusraportissaan tutkimukseen osallistuneiden opettajaopiskelijoiden hyväksi havaitsemia matematiikan musiikkiin integroitavia osa-alueita (luku 5.1). Siinä mittaamisen osa-alueen integroimisen musiikkiin koki hyödyllisenä ainoastaan vähän yli 15% tutkimukseen osallistuneista. Tämä ei tutkimukseni valossa tarkoita sitä, että mittaaminen olisi aina huono osa-alue integroitavaksi (vrt. Still & Bobis, 2008, missä se koettiin toimivaksi), mutta jos opettaja tai oppijat jossakin oppimistilanteessa kokevat integroinnin turhaksi tai jopa haitalliseksi, vaikuttavat nämä ennakkotunteet suoraan mallini kohtaan 2 – motivaatioon – ja sitä kautta tavoitteen saavuttamiseen negatiivisesti. Näen, että teoreettisen mallini mukainen integroiminen on parhaimmillaan työväline ja välinearvo laadukkaalle ja kokonaisvaltaiselle oppimiselle, ongelmanratkaisutaitojen kehittymiselle sekä oppimisesta iloittamiselle – ei ehdoton, pysyvä tai kaikkiin (oppimis)tilanteisiin sopiva.

Jo ennen tutkimustyöni aloittamista oletin, että tähän tutkielmaan valitsemani aineet musiikki ja matematiikka eivät varmasti ole ainoat oppiaineet, joiden integroiminen kouluympäristössä voisi olla mielekästä, toimivaa ja hyödyllistä. Mahdollisuuksia on lukuisia: aivan kuten ylipäätään ilmiöpohjaisessa opettamisessa, myös integroitavissa aineyhdistelmissä on varmasti syytä ja kannattavaa olla luova ja kokeilunhaluinen. Esimerkiksi aivotutkimukseen tutustuessani luin paljon myös kielten ja musiikin yhtäläisyyksistä ja yhteisistä tarttumapinnoista (vrt. Koelsch, 2019; Linnavalli, 2019) niin aivotoiminnallisista syistä kuin ilmiöpohjaiselta kannalta. Tiedän myös erään tamperelaislukion puitteissa toteutetusta englannin kielen ja musiikin ilmeisesti hyvin onnistuneesta integrointikokeilusta. En siis yritä tutkielmani myötä väittää, että musiikki ja matematiikka ovat ainoat tai parhaat integroitavat oppiaineet. Ne kuitenkin inspiroivat juuri minua ja osoittautuivat monilta osin potentiaalisiksi ja toimivaksi yhdistelmäksi – sellaiseksi, joka avaa lukuisia uusia, mielekkäitä ja jatkuvasti kehitettävissä olevia mahdollisuuksia.

Oppiaineiden integroiminen kouluympäristössä (myöskään varmasti esimerkiksi Suomen koulujärjestelmän kontekstissa) ei ole yksinkertaista tai samankaltaisena kaikkiin koulukonteksteihin sopivaa (vrt. Rogers, 2016). Esimerkiksi opettajat voivat kohdata lukuisia haasteita ilmiöpohjaisuuskokeiluissa (vrt. kuka on pätevä opettamaan integroitua esimerkiksi integroitua musiikki-fysiikkaa? jne.) ja koulut integroitujen oppiainei-

den aikataulutuksessa tällä hetkellä hyvin tarkasti strukturoituun ja oppiainepainotettuun (vrt. kuinka monta pakollista vuosiviikkotuntia mitäkin ainetta) lukujärjestelmään. Koen kuitenkin, että tämänkaltaiset käytännön haasteet ovat pitkällä tähtäimellä ratkaistavissa, mikäli ilmiöpohjaisuutta ja erilaisia integroituja oppiainesisältöjä tutkitaan yhä enemmän ja niiden aikaansaamat hyödyt tunnustetaan ja todistetaan. Tutkimustyö aiheen parissa onkin siis ehdottoman tärkeää tulevaisuudessa(kin). Projektiluontoisuus ja projektiluontoiset kouluympäristöön sijoittuvat kokeilut ovat kuitenkin myös ymmärryksen mukaan erittäin toimiva ja helpommin toteutettavissa oleva alusta integroinnille ja sen kannattavuuden testaamiselle. Projektit lisäksi usein mahdollistavat aineiden integrointimallissa esille nostamani interaktiivisen ja sosiaalisen oppimiskontekstin sekä positiiviset oppimiskokemukset ”kuin itsestään”.

Vaikka nostinkin musiikkiteknologian sekä musiikkiteknologiset sovellukset tutkimukseni esille, en painottanut mallissani erikseen teknologian roolia nykyajan kouluympäristössä. Uusimpien perus- ja lukio-opetuksen opetussuunnitelman perusteissa kuitenkin korostetaan myös digitalisaation merkitystä ja alati kasvavaa roolia myös kouluympäristöissä (POPS, 2014; LOPS, 2019). Myös Osaaminen 2035 -raportissa digitalisaatioon liittyvien osaamisien – esimerkiksi digitaalisten ratkaisujen ja alustojen hyödyntämisen osaaminen – nähtiin eräänä merkittävimmistä tulevaisuuden osaamisaloista (OPH, 2019, 5). Musiikin ja matematiikan integroimisen tuomat luovat mahdollisuudet myös digitaalisten ratkaisujen ja alustojen hyödyntämiseen ovat merkittävä hyöty.

Kesällä 2015 ohjasin ala-asteikäisille tiedeleirejä tiedekeskus Heureka. Erään työpajan yksi aktiviteetti oli Muzak-nimisen iPad-sovelluksen tutkiminen ja käyttäminen pienissä ryhmissä. Sovellus integroi geometriaa, musiikkia sekä kuvataidetta tarjoamalla kentän, johon tulee sijoitella erilaisia, eri kokoisia ja eri muotoisia geometrisia kuvioita. Kuvioilla on kullakin ainoastaan niille ominainen ääni/äänimaisema, joka voi olla kertaluontoinen tai jatkuva ja samalla perkussiivinen tai melodinen. Työpajan aikana tiedekurssilaiset muodostivat Muzakin avulla visuaalisesti näyttäviä, abstrakteja tai kerronnallisia kuvia, jotka koostuivat matemaattisen luonteen omaavista elementeistä ja kokonaisuutena muodostivat äänimaiseman tai sävellyksen. Erilaisilla mobiililaitesovelluksilla on nähdäkseni myös tarjota mielekkäitä näkökantoja integroimiselle (ks. tulevia tutkimusaiheita).

Musiikki ja matematiikka voivat siis toimia toisillensa hahmotusapuina, toistensa tarttumapintoina, toistensa oppimiseen ja ymmärtämiseen motivoivina tekijöinä, toinen toistensa yhteiskunnallisen arvostuksen nostajina. Oppiaineiden integroinnin ollessa merkittävä osa perusopetuksen ja lukio-opetuksen uusia opetussuunnitelmia, oli mielestäni tärkeää tarkastella aiempaa aiheesta tehtyä tutkimusta kriittisesti ja pyrkiä siten osoittamaan, että musiikin ja matematiikan moninaisten yhtäläisyyksien tunnistamisen tarjoama hyöty on aiempaa – pelkän älykkyysosamäärän kohottamista ihannoivaa - näkökulmaa merkittävämpi. Tutkielmani valossa vaikuttaa siltä, että musiikkia ja matematiikkaa integroimalla voidaan parhaimmillaan kehittää oppijan ongelmanratkaisutaitoja, motivoida ja innostaa oppimiseen ja maailman ilmiöiden tunnistamiseen ja tutkimiseen.

6.1 Luotettavuustarkastelu

Koska kyseessä on teoreettinen tutkimus ja koska toimin lähdekirjallisuuden lukijana ja tulkitsijana sekä kirjallisuuskatsauksen, analyysin sekä johtopäätöksien tekijänä, tutkimuksessa kuuluu oma ääneni tutkijana (vrt. Jyväskylän yliopisto, JYUa; Nurmi, 1992). Yritin olla mahdollisimman objektiivinen ja kriittis-analyyttinen lukiessani, kirjoittaessani ja teoreettista mallia luodessani, mutta luotettavuuden suhteen tulee ehdottomasti huomioida tutkimukseni postpositivistinen luonne. Lähdeaineistoni on vertaisarvioitua ja siten tieteellisesti luotettavaa – ainoastaan johdannossa, pohdinnassa sekä sitaateissa käytin muutakin (kuin vertaisarvioitua) kirjallisuutta tukemaan omaa pohdintaani sekä mahdollisesti inspiroimaan lukijaa tutkimaan aiheen moninaisia näkökantoja.

Tutkimusaiheeni on kokonaisuudessaan hyvin laaja, joten jouduin kaventamaan tiettyjä katsauksia – esimerkiksi katsaukset aivotutkimukseen, käsitteisiin motivaatio ja ongelmanratkaisutaidot sekä matematiikkaan musiikin kontekstissa (ja toisin päin) ovat kukin yksittäisinäkin aiheina monipuolisen tutkimuksen arvoisia. Pyrin kuitenkin valikoimaan ja nostamaan esiin juuri tämän tutkimuksen kannalta tärkeimmät näkökannat kustakin käsitteestä (vrt. ongelmanratkaisutaidot nimenomaan OECD-raportin näkökulmasta ja motivaatio oppimisen kontekstissa).

Vaikka tutkimukseni ja integrointimallini (kuva 11) on teoreettinen, annoin luvussa 5.2.1 esimerkin musiikin ja matematiikan ilmiöpohjaisesta ja kahdensuuntaisesta integroimisesta myös käytännönläheisestä ainesisältönäkökulmasta. Ehdotelmani perustuu täysin lukemalleni ja analysoimalleni kirjallisuudelle, jota esittelin tutkielmani teoreetti-

sessä viitekehyksessä, ja tiedostan, että sen toimivuutta tulisi ehdottomasti tutkia empiirisesti kouluympäristössä ennen kuin se olisi perustellusti siirrettävissä kouluympäristöön. Lisäksi luvun 5.2.4 yhteydessä havainnollistin mallini osa-alueiden suhdetta OECD:n (2013) ongelmanratkaisuprosessiin käyttäen apunani konkreettista integrointi-tehtävää. Koin kuitenkin kyseisten suuntaa antavien esimerkkien syventävän teoreettista malliani merkittävästi.

6.2 Tulevia tutkimusaiheita

Mahdollisena omana jatkotutkimusaiheenani näen teoreettisen mallin (luku 5.2) toimivuuden testaamisen käytännössä kouluympäristössä ja sitä kautta sen asteittaisen tarkentamisen. Uskon, että mallia voi muokata, kehittää ja tarkentaa vielä todella merkittävästi, kun sen vaikutukset nähdään käytännössä ja oikeassa kontekstissa – koulussa. Mallia voi empiirisen tutkimuksen pohjalta myös soveltaa ja tarkentaa eri luokka-asteille sopivaksi.

Mallini ensimmäistä kohtaa eli ainesisältöjen ilmiöpohjaista kahdensuuntaista integrointia voisi tutkia tarkemmin erikseen ja käytännönläheisesti (esim. tapaustutkimus). Opetussuunnitelmat eri luokka- ja kouluasteille tarjoavat varmasti lukuisia käyttökelpoisia ja luovia ainesisältöyhdistelmiä, jotka onnistuessaan vaikuttavat suoraan siihen, saavuttaako aineiden integrointi halutut hyödyt (tämän tutkielmani näkökulmasta esim. motivaation herääminen, positiiviset oppimiskokemukset, ongelmanratkaisutaitojen kehittyminen).

Aivotutkimuksen kentällä on varmasti vielä paljon mielekästä tutkittavaa jäljellä. Esimerkiksi tutkijat Juslin ja Sakka (2019) korostavat musiikin aikaansaamien emootioiden kartoittamisen haastavuutta aivotutkimuksessa ja Tervaniemi (2017) puolestaan alleviivaa jatkuvan tutkimisen tärkeyttä – esimerkiksi aina, kun löydetään uusi mahdollinen aivotoiminnankin kannalta hyödylliseksi oletettu aktiviteetti (vrt. digitaalisen musiikkiympäristön hyödyntäminen), on ehdotonta, että sitä tutkitaan saaden todisteita hyödyllisyydestä.

Myös jo olemassa olevia matematiikkaa ja musiikkia integroivia mobiililaitesovelluksien ja esimerkiksi nettisivustojen käyttöä voisi tulevaisuudessa tutkia laajalti kouluympäristökäytössä (vrt. opetussuunnitelmienkin mukainen digitalisaatio koulumaailmassa). Muun muassa sivusto Math, Science & Music (www.mathsciencemusic.org) esittelee

lukuisia erilaisia sovellusmuotoja ja ideoita erilaisille kohderyhmille. Koen kuitenkin tutkimukseni valossa, että niiden (sovellusten ja ideoiden) mahdollisimman kokonaisvaltainen hyödyntäminen onnistuu paremmin osana suurempaa integrointimallia kuin satunnaisesti pieninä osina erillisiä musiikin ja matematiikan oppitunteja.

Teorialuvussa 2.3 lyhyesti esittelemäni musiikkiteknologian ala on hyvin laaja ja mahdollisuusrikas kenttä musiikin ja matematiikan yhtäläisyyksien hyödyntämiselle ja kokeilemiselle luokkatilanteissa(kin). Esimerkiksi erilaiset modulaarisyntetisaattorit, äänisekvenssien käyttö ja iPad-sovellukset tarjoavat jo nyt käytännönlähtöisiä tutustumistapoja musiikin ja matematiikan yhtymäkohtiin ja yhteisiin ilmiöihin – sovellusten käyttömahdollisuuksia eri luokka-asteilla kouluympäristössä voisi olla mielekästä tutkia.

Integroimisaihepiiriä voisi hyvin tutkia myös enemmän opettajälähtöisestä näkökulmasta: kuten jo pohdinnassa totesin, aiemmassa tutkimuksessa on havaittavissa, kuinka haastavaa opettajan on tämän hetkisen kaltaisessa kouluympäristössä ottaa ainerajat ylittäviä oppisisältöjä laajasti ja nopeasti haltuun. Aika, resurssit ja tilat ovat rajallisia, joten maisterintutkimuksen kaltaisen teoreettisen integrointimallin toteuttaminen käytännössä vaatisi varmasti ainakin toistaiseksi paljon erityisjärjestelyitä ja -ponnisteluita – sellaisia, jotka eivät suoraan ole mahdollisia ilman tarkkaa valtakunnallista ja koulukohtaista suunnittelua. Kyseistä aspektia tutkimalla voitaisiin kuitenkin löytää erilaisia toimintamahdollisuuksia myös tämä huomioiden. Integrointi tarjoaisi opettajille lisäksi ainutlaatuisen mahdollisuuden yhteistyöhön ja yhteisopettajuuden kokeilemiseen (Rogers, 2016).

Oppiaineiden keskinäisen integroimisen mahdollisuudet ovat varmasti muutenkin erittäin monisyiset, laajat ja vasta vähän tutkitut ja tunnetut, joten myös muiden oppiaineiden yhdistämisen vaikutuksien ja hyötyjen tutkiminen ja niiden ideaali ja kahdensuuntainen hyödyntäminen koulukontekstissa olisivat varmasti mielekkäitä, tärkeitä ja ajankohtaisia tulevia tutkimusaiheita.

Lisäksi ongelmanratkaisutaidot (sekä niiden kehittäminen ja kehittyminen) käsitteenä herätti tutkimukseni aikana mielenkiintoni. Koen, että käsitteen lukuisia eri rakennuspaikoita ja etenkin ongelmanratkaisutaitojen merkitystä ja hyötyjä olisi kannattavaa tutkia enemmän tässä maailmassa, jossa ongelmanratkaisusta on tullut nykypäivää (vrt. Kyllönen & Nissinen, 2014).

6.3 Lopuksi

Jos kuljemme vain nykyisyydestä eteenpäin päivä tai vuosisata kerrallaan, olemme kuin unissakävelijöitä – vailla päämäärää, tai edes tietoisuutta siitä, mikä päämäärä voisi olla saavutettavissa. Tulevaisuuden, mahdollisten tulevaisuuksien, kuvittelemisen havahduttaa meidät myös nykyhetkeen. ”Näemme aamun sarastuksen vain, jos odotamme sitä valveilla”, kirjoitti Henry Thoreau. (Valtaoja, 2017, 11.)

Ääni ja varsinkin musiikki on nähdäkseni enemmän kuin aaltoliikettä – se liikuttaa, parantaa ja yhdistää ihmisiä toisiin ihmisiin. Kuten kirjassa *The Science of Sound* (Rosling, Moore, Wheeler, 2014, 79) todetaan, ihmisen kuulokyky on noin yhdeksän kertaa laajempi kuin ihmisen näkökyky: näkemällä voimme havaita noin seitsemän miljoonaa eri väriä. Kuuntelemalla voimme aistia värejä vielä paljon sitäkin enemmän.

Maailma ilmiöineen on äärimmäisen kaunis ja ihmeellinen, ja siinä riittää tutkittavaa ja hämmästeltyä. Mielestäni onkin tärkeää tutkia ja pyrkiä ymmärtämään siitä (maailmasta) ja sen tarjoamista mahdollisuuksista aina vain enemmän. Onkin mielestäni helppoa haluta kuulla tällaisen ihmemaailman kieli (matematiikka) ja säveltää siitä aina vain uutta musiikkia.

Maalaa taivaanrantaan aurinko, ja katso sitä. Aikanaan aurinko nousee. (Valtaoja, 2017, 11.)

Lähteet

- ABC Music & Me. The Impact of Music on Mathematics Achievement: A research summary in support of Kindermusik's ABC Music & Me. http://www.abcmusicandme.com/documents/impact_of_music_on_math.pdf (Luettu: 11.7.2019)
- An, S. A. & Tillman, D. & Shaheen, A. & Boren, R. 2014. Preservice Teachers' Perceptions About Teaching Mathematics Through Music. *Interdisciplinary Journal of Teaching and Learning* 4, 3, 150-171.
- Bekirian, D. A. & Levey, A. B. 2005. *Applied psychology: putting theory into practice*. New York: Oxford University Press.
- Blood, A. & Zatorre, R. 2001. Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *PNAS*, 98, 20, 11818–11823.
<https://pdfs.semanticscholar.org/e774/27e526db3d0a23bcb8e511411ece9f1f0403.pdf> (Luettu: 3.12.2019)
- Boettcher, W. S. & Hahn, S. S. & Gordon, S. L. 1994. *Leonardo Music Journal*, 1994, 4, 53–58.
- Brattico 2019. The Neuroaesthetics of Music: A Research Agenda Coming of Age. Teoksessa Michael H. Thaut & Donald A. Hodges (toim.) *The Oxford Handbook of Music and Brain*. Oxford: Oxford University Press, 364–390.
- Chabay, R. W. & Sherwood, B. A. 2015. *Matter & Interactions*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Collins, A. 2014. Neuroscience, music education and the pre-service primary (elementary) generalist teacher. *International Journal of Education & the Arts*, 15, 5.
- Collins, K. 2008. *Game Sound – an introduction to the history, theory and practice of video game music and sound design*. USA & UK: The MIT Press.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. 2000. The “What” and “Why” of Goal Pursuits: Human Needs and the Self-Determination of Behavior. *Psychological Inquiry* 11, 4, 227–268.

- DeLorenzo, L. 1989. A Field Study of Sixth-Grade Students' Creative Music Problem-Solving Processes. *Journal of Research in Music Education*, 37, 3 (Autumn, 1989), 188–200.
- Duda, J. L & Treasure D. C. 2006. Motivational processes and the facilitation of performance, persistence, and well-being in sport. Teoksessa J. M. Williams (toim.) *Applied Sport Psychology: Personal growth to peak performance*. 5. painos. New York: McGraw-Hill, 57–81.
- Eerola, P-S. 2014. Musiikin opiskelun siirtovaikutuksia – katsaus empiirisiin tutkimuksiin. *Musiikkikasvatus – The Finnish Journal of Music Education (FJME)*, 17, 1, 57–69.
- Eerola, P-S. & Eerola, T. 2014. Extended music education enhances the quality of school life, *Music Education Research*, 16, 1, 88–104.
- Erginsoy Osmanoglu, D. & Yilmaz, H. 2019. The Effect of Classical Music on Anxiety and Well-Being of University Students. *International Education Studie*, 12, 11, 18–25.
- Ford, M. E. 1992. *Motivating Humans: Goals, Emotions, and Personal Agency Beliefs*. USA: Sage Publications.
- Geist, Kamile & Geist, Eugene A. & Kuznik, Kathleen. 2012. The Patterns of Music: Young Children Learning Mathematics through Beat, Rhythm, and Melody. *Young Children* 67, 1, 74–79.
- Harkleroad, Leo. 2006. *The Math Behind the Music*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hirsjärvi, S., Remes, P. Sajavaara, P. 1998. *Tutki ja kirjoita*. Tampere: Tammer-Paino Oy
- Huotilainen, M. & Putkinen, V. 2008. Musiikkiharrastus vaikuttaa voimakkaasti lapsen aivotoimintaan. *Musiikki 3–4*, 204–217.
- Jensen, E. 2000. *Music With the Brain in Mind*. Thousand Oaks, California: Corwin Press.
- Joutsenvirta, A. 2005. Akustiikan perusteet -nettisivusto. <http://www2.siba.fi/akustiikka/index.php?id=1&la=fi> (Luettu: 24.6.2020)

- Juslin, P. N. & Sakka, L. S. 2019. Neural Correlates Of Music and Emotion. Teoksessa Michael H. Thaut & Donald A. Hodges (toim.) *The Oxford Handbook of Music and Brain*. Oxford: Oxford University Press, 285–332.
- Jyväskylän yliopisto, JYUa. Koppa. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/teoreettinen-tutkimus> (Luettu: 4.4.2020)
- Jyväskylän yliopisto, JYUa. Matematiikan ja tilastotieteenlaitos. Lukujonot. <http://www.math.jyu.fi/matyl/peruskurssi/talousmatematiikkaa/lukjono3.5.htm> (Luettu 13.9.2020)
- Kankkunen, O-T. 2018. Kuuntelukasvatus suomalaisessa perusopetuksessa – kohti yhteisöllistä äänellistä toimijuutta. Väitöskirja, Sibelius-Akatemia.
- Kaperi, P. 2017. ”Näen maailmani musiikin termein” – musiikin ja matematiikan integrointi lapsen ongelmanratkaisutaitojen kehittämisessä kouluympäristössä. Kandidaatintutkielma, Sibelius-Akatemia.
- Koelsch, S. 2010. Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 3, 131–137.
- Koelsch, S. 2011. Toward a neural basis of music perception – a review and updated model. *Frontiers in Psychology*, 2, 110, 1–20.
- Koelsch, S. 2019. Neural Basis of Music Perception: Melody, Harmony, and Timbre. Teoksessa Michael H. Thaut & Donald A. Hodges (toim.) *The Oxford Handbook of Music and Brain*. Oxford: Oxford University Press, 187–211.
- Kyllönen, S. & Nissinen, K. 2014. Suomalaisnuorten ongelmanratkaisutaidot. Opetus- ja kulttuuriministeriön julkaisuja 2014, 16. <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/75218/okm16.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Luettu: 5.7.2020)
- Laes, T. 2006. Muuttuva musiikkikasvatus: sosiokulttuurinen kritiikki musiikkikasvatuksen oppijakäsityksiin. Maisterintutkielma, Sibelius-Akatemia.
- Levitin, D. J. 2006. *This Is Your Brain On Music – The Science of a Human Obsession*. A Plume Book.
- Linnavalli, T. 2019. Effects of musical experience on children’s language and brain development. Väitöskirja, Helsingin yliopisto.

- McKelvie, P. & Low, J. 2002. Listening to Mozart does not improve children's spatial ability: Final curtains for the Mozart effect. *British Journal of Developmental Psychology*, 2002, 20, 241–258.
- Miranda, E. R. & Overy, K. 2009. Preface: The Neuroscience of Music. *Contemporary Music Review*, 28, 3, 247–250.
- Nantais, K. & Schellenberg, E. 1999. The Mozarts Effect: An Artifact of Preference. *Psychological Science*, 10, 4, 370–373.
https://www.researchgate.net/profile/E_Schellenberg/publication/228599687_The_Mozart_Effect_An_Artifact_of_Preference/links/02bfe50e020e33d6f3000000.pdf (Luettu: 12.8.2019)
- Nurmi, J-E. 2013. Motivaation merkitys oppimisessa. *Kasvatus* 2013, 5, 548–554.
- Nurmi, K. 1992. Systemaattinen analyysi kasvatustieteiden tutkimusmenetelmänä. Teoksessa T. Gröhn & J. Jussila (toim.) *Laadullisia lähestymistapoja koulutuksen tutkimuksessa*. Helsinki: Yliopistopaino.
- OECD (2013), *PISA 2012 Assessment and Analytical Framework: Mathematics, Reading, Science, Problem Solving and Financial Literacy*, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264190511-en> (Luettu: 5.8.2020)
- OECD (2019), *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*, PISA, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/b25efab8-en>. (Luettu: 5.8.2020)
- Opetushallitus. 2014. *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2014 (POPS, 2014)*.
http://www.oph.fi/download/163777_perusopetuksen_opetussuunnitelman_perusteet_2014.pdf (Luettu: 31.7.2020)
- Opetushallitus. 2019a. *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2019 (LOPS, 2019)*.
http://www.oph.fi/download/166556_lukion_opetussuunnitelman_perusteet_2015_luonnos_14042015.pdf (Luettu: 14.8.2020)
- Opetushallitus. 2019b. *Osaaminen 365. Osaamisen ennakointifoorumin ensimmäisiä ennakointituloksia*.
https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/osaaminen_2035.pdf(Luettu: 17.8.2020)

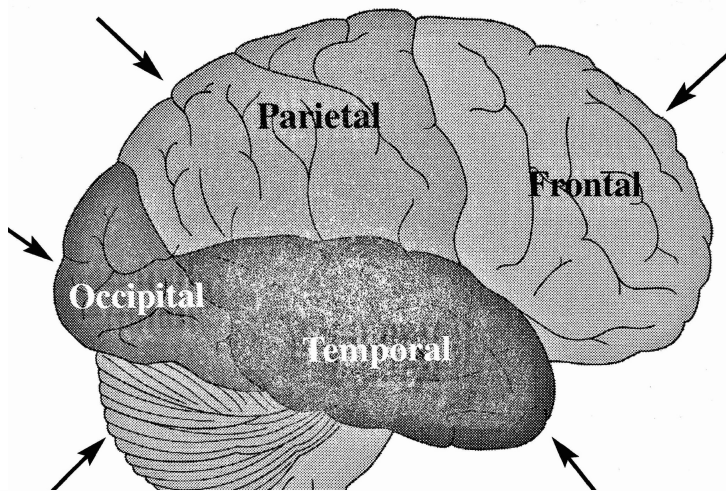
- Pintrich, P. R. 2003. A Motivational Science Perspective on the Role of Student Motivation in Learning and Teaching Contexts. *Journal of Educational Psychology*, 95, 4, 667–686.
- Polya, G. 1957. *How To Solve It*. USA: Princeton University Press.
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L. & Ky, K. N. 1993. Music and Spatial Task Performance. *Nature* 365, 611.
- Riley, P. 2015. iPad Apps for Creating in Your General Music Classroom. *National Association for Music Education 2015, General Music Today*, 1–10. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.859.5250&rep=rep1&type=pdf> (Luettu: 31.8.2020)
- Rogers, G. L. 2016. The Music of the Spheres - Cross-Curricular Perspectives on Music and Science. *Music Educators Journal*, 103, 1, 41–48.
- Rossing, T.D., Moore, R. F., & Wheeler, P. A. 2014. *The Science Of Sound* (Third Edition). Harlow, Essex: Pearson.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. 2000. Self-Determination Theory and the Facilitation of Intrinsic Motivation, Social Development, and Well-Being. *American Psychologist*, 55, 1, 68–78.
- Saarikallio, S. & Erkkilä, J. 2007. The role of music in adolescents' mood regulation. *Society for Education, Music and Psychology Research* 35, 1, 88–109.
- Saarikallio, S., Tervaniemi, M., Yrtti, A. & Huotilainen, M. 2019 Expression of emotion through musical parameters in 3- and 5-year-olds, *Music Education Research*, 21, 5, 596–605.
- Schoenfeld, A. H. 1992. Learning To Think Mathematically: Problem solving, metacognition and sense making in mathematics. Teoksessa D. Grouws (toim.) *Handbook for Research On Mathematics Teaching and Learning*. New York: Macmillan, 334–370.
- Still, K. & Bobis, J. 2008. The Integration of Mathematics and Music in the Primary School Classroom. https://www.researchgate.net/profile/Janette_Bobis/publication/237832091_The_Integrton_of_Mathematics_and_Music_in_the_Primary_School_Classroom/links/00b7d5282bd17d2560000000.pdf (Luettu: 17.8.2020)

- Tervaniemi, M. 2017. Music in Learning and Relearning: The Life-Span Approach. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 27, 3, 223–226.
- Tervaniemi, M. & Putkinen, V. 2019. Neuroplasticity in Music Learning. Teoksessa Michael H. Thaut & Donald A. Hodges (toim.) *The Oxford Handbook of Music and Brain*. Oxford: Oxford University Press, 546–563.
- Tossavainen, T. & Juvonen, A. 2013. Vertailututkimus peruskoululaisten ja lukiolaisten kiinnostuksesta musiikkiin ja matematiikkaan. *Musiikkikasvatus*, 16, 1, 18–28.
- Tossavainen, T. & Juvonen, A. 2015. Finnish primary and secondary school students' interest in music and mathematics relating to enjoyment of the subject and perception of the importance and usefulness of the subject. *Research Studies in Music Education*, 37, 1, 107–121.
- Valtaoja, Esko. 2012. *Kaiken käsikirja*. Keuruu: Ursa, Otavan Kirjapaino Oy.
- Valtaoja, Esko. 2017. *Kohti ikuisuutta*. Keuruu: Ursa, Otavan Kirjapaino Oy.
- Virtala, P. 2015. The neural basis of Western music chord categorisations – effects of development and music expertise. Väitöskirja, Helsingin yliopisto.
- Virtala, P. & Tervaniemi, M. 2017. Neurocognition of Major-minor and Consonance-dissonance. *Music Perception*, 34, 4, 387–404.
- Vuokoski, J. & Eerola, T. 2012. Can Sad Music Really Make You Sad? Indirect Measures of Affective States Induced by Music and Autobiographical Memories. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 6, 3, 204–213.
- Walkington, A. 2013. Using Adaptive Learning Technologies to Personalize Instruction to Student Interests: The Impact of Relevant Contexts on Performance and Learning Outcomes. *Journal of Educational Psychology*, 105, 4, 932–945.
- White, H. & White, D. 2014. *Physics and Music: The Science of Musical Sound*. Philadelphia: Saunders College/Holt, Rinehart and Winston. Dover edition (alkuperäinen 1980).
- Wright, D. 2009. *Mathematics and Music*. USA: AMS – American Mathematical Society.
- Zatorre, R. 2005. Music, the food of neuroscience? *Nature* 343, 312–15.
- Özreçberoğlu, N. & Çağanağa, C.K. 2017. Making It Count: Strategies for Improving Problem-Solving Skills in Mathematics for Students and Teachers' Classroom

Management. EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 14, 4, 1253–1262.

Liite 1, Aivoalueet, jotka musiikki aktivoi

Multiple Sites/Lobes Activated by Music



Temporal = temporaalilohko

Frontal = etulohko

Parietal = parientaalilohko

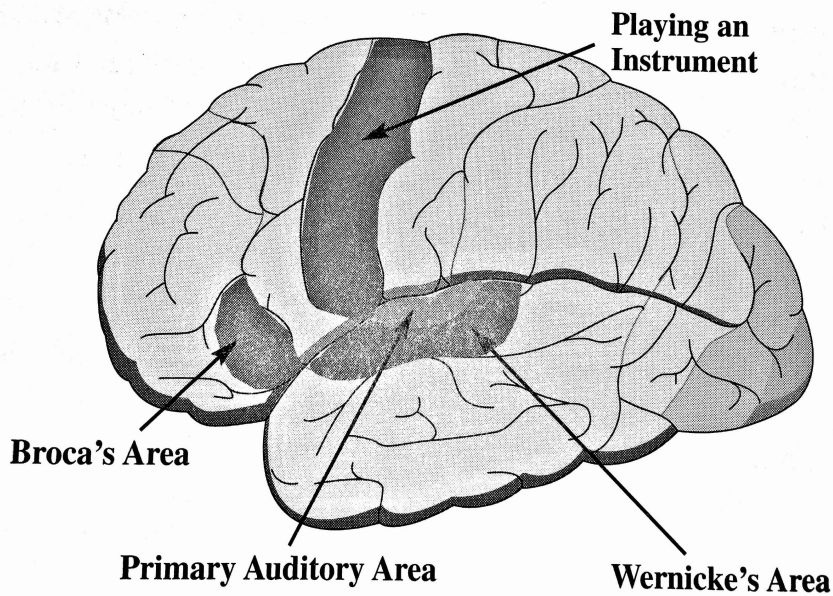
Cerebellum = aivokurkiainen

Occipital = oksipitaalilohko

Primary Auditory Area = ensisijainen kuuloalue

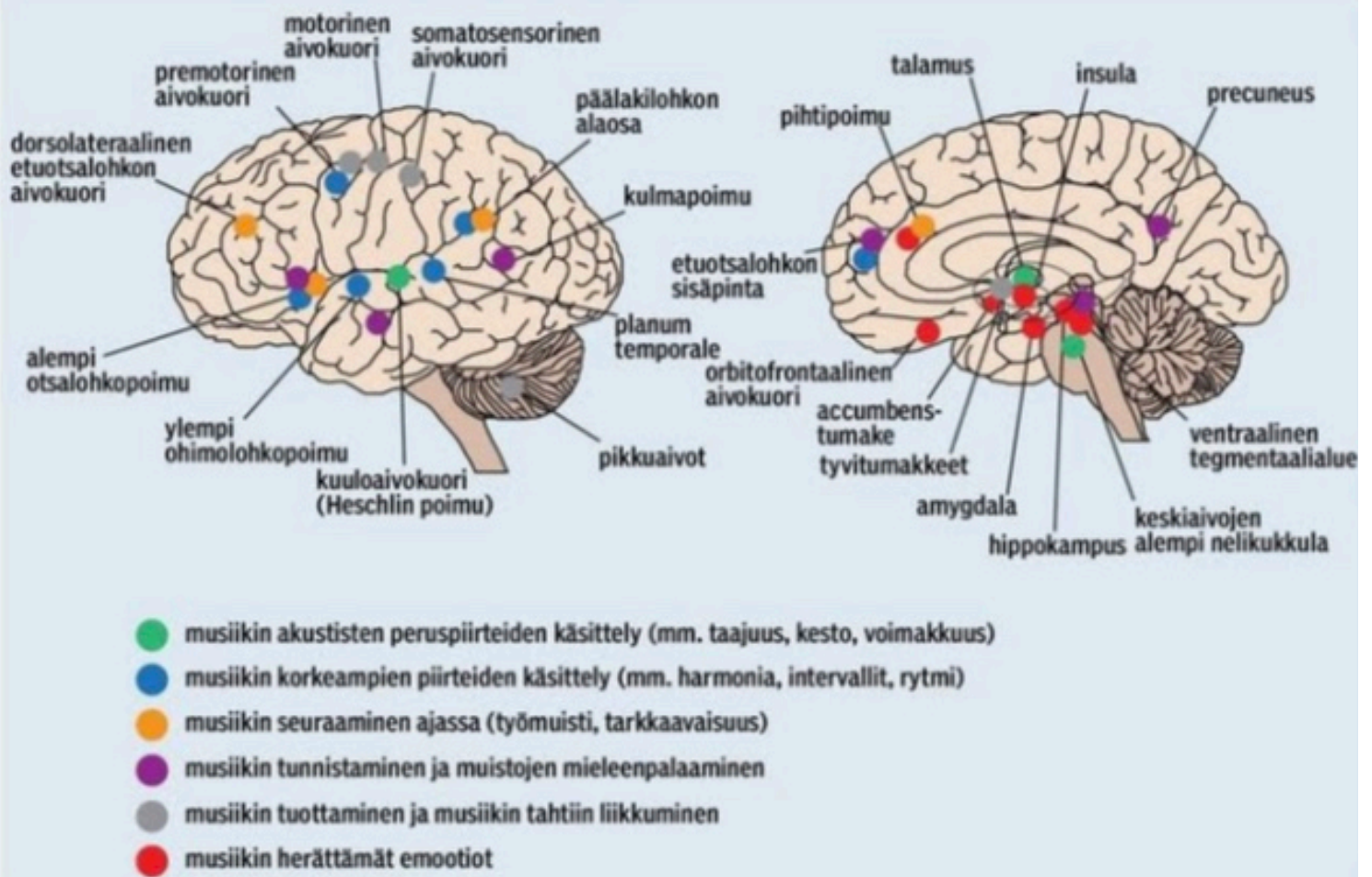
Playing an instrument = soittimien soittaminen

The Musical Brain



(Jensen, 2000, 13. Multiple sites/lobes activated by music & The Musical brain.)

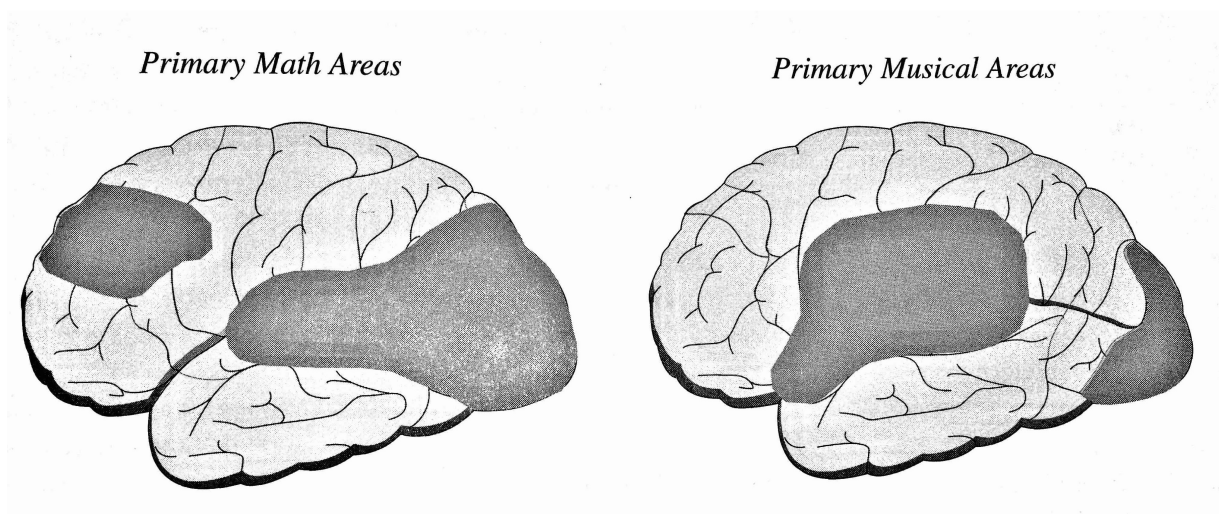
Musiikin käsittelyyn osallistuvat keskeiset aivoalueet.



(Särkämö, T. & Huotilainen, M. 2012. Musiikkia aivoille läpi elämän. Suomen Lääkäri-lehti 67, 17, 1335.)

Liite 2, Musiikin ja matematiikan aktivoimat aivoalueet

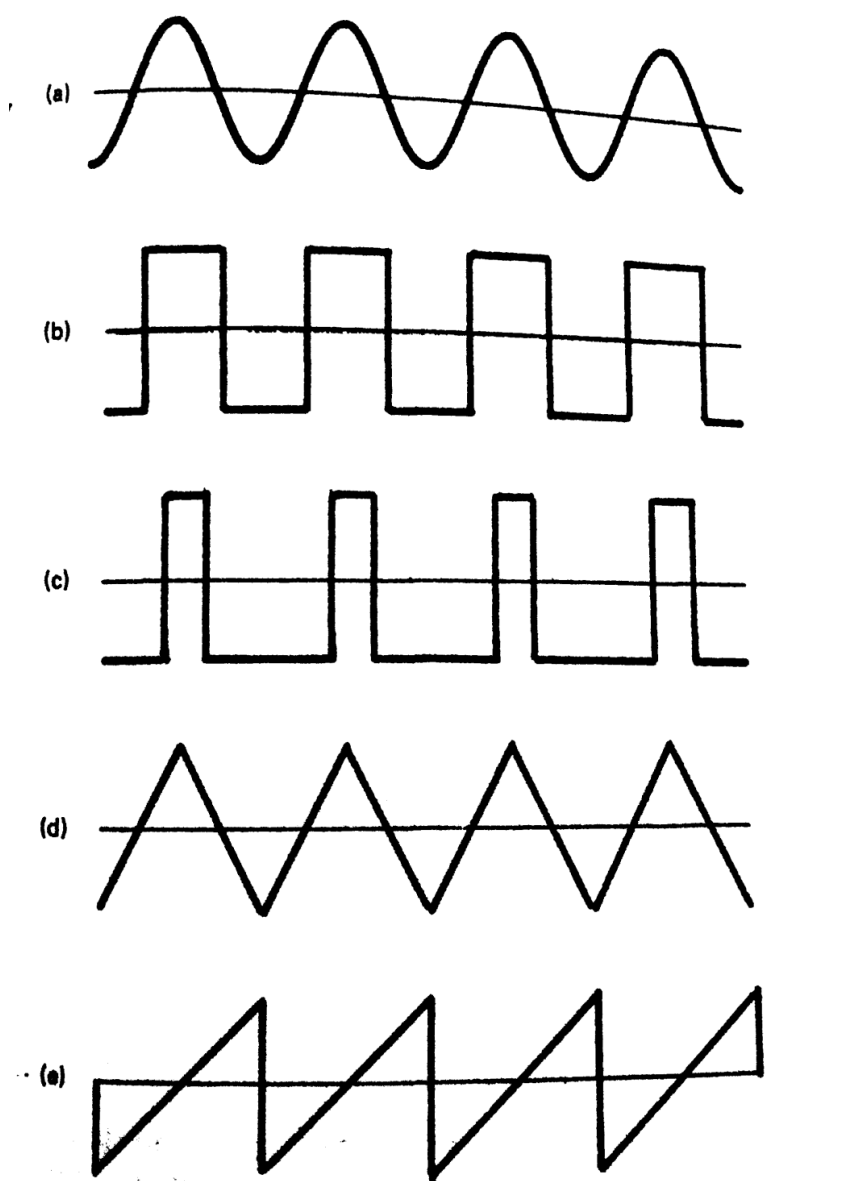
Oikealla tummalla aivoalueet, jotka aktivoituvat merkittävästi matemaattisia tehtäviä ratkaistaessa. Vasemmalla tummalla aivoalueet, jotka aktivoituvat merkittävästi musiikkia kuunnellessa tai tehdessä.



(Jensen, 2000, 33. Primary Math Areas & Primary Musical Areas.)

Liite 3, Kompleksiset aaltomuodot

- a. Siniaalto
- b. Kantiaalto
- c. (suorakulmioaalto - rectangular wave)
- d. Kolmioaalto
- e. Saha-aalto



(White & White, 2014, 333.)