

**NEUROVERKOT EDISTÄMÄSSÄ MUUSIKON JA DIGITAALISEN  
SOITTIMEN VÄLISTÄ SENSOMOTORISTA YHTEENSOPIVUUTTA**

Lauri Kaartinen  
Kandidaatintutkielma  
Musiikkitiede  
Jyväskylän yliopisto  
Kevätlukukausi 2019

## JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

<b>Tiedekunta</b> Humanistis-yhteiskuntatieteellinen tiedekunta	<b>Laitos</b> Musiikin, taiteen ja kulttuurin tutkimuksen laitos
<b>Tekijä</b> Lauri Kaartinen	
<b>Työn nimi</b> Neuroverkot edistämässä muusikon ja digitaalisen soittimen välistä sensomotorista yhteensopivuutta	
<b>Oppiaine</b> Musiikkitiede	<b>Työn laji</b> Kandidaatintutkielma
<b>Aika</b> Kevätlukukausi 2019	<b>Sivumäärä</b> 27
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tutkimuksen tarkoituksena on ollut tutkia sitä, miten keinotekoiset neuroverkot voivat edistää muusikon ja soittimen välistä sensomotorista yhteensopivuutta ratkaisemalla soittimien käyttämiseen liittyviä ongelmia. Varsinkin syväoppivia neuroverkkoja on käytetty laajalti eri aloilla, mutta musiikkiin liittyen muusikon ja soittimen välisen suhteen ja yhteistoiminnan tutkimus on harvoin esiintyvää. Keinotekoisia neuroverkkoja tarkastellaan vuorovaikutteisena osana musiikin luomista ja kokemista. Sensomotorisuuden voisi nähdä soittokokemusten ytimessä, sillä musiikkia tehdään ja ymmärretään ainakin osin kehon ja sen aistien avulla. Keholliset kokemukset saattavat pitkälti vaikuttaa siihen, miten vuorovaikutusta ja kulttuurista toimintaa ymmärretään.</p> <p>Menetelmänä käytettiin integroivaa kirjallisuuskatsausta. Tutkielmaan tehtiin erillinen artikkelihaku 11.03.2019 Association of Computing Machinery Digital Library (ACM DL) -tietokannasta. Kuudentoista artikkelin aineisto analysoitiin teoriasidonnaisen sisällönanalyysin avulla, jossa laadullisen teemoittelun lisäksi tyypittelyä pyrittiin tuomaan analyysiin mukaan. Teemoittelun lisäksi tietoa voitaisiin nähdä myös kasattaneen neuroverkkoihin ja niiden tyypeihin liittyen.</p> <p>Tutkielmassa päädyttiin siihen, että sensomotorista yhteensopivuutta voidaan edistää neuroverkoilla monin tavoin, esimerkiksi käyttämällä neuroverkkoja fyysisten tai tiedollisten ongelmien ratkaisemisessa. Neuroverkkosoittimista voidaan myös löytää erinäisiä yhteisiä piirteitä. Tutkielmalla voidaan hahmottaa koneoppimisjärjestelmien käytön mahdollisesti yleistyessä paremmin sitä, miten neuroverkot voivat toimia interaktiivisessa musiikissa. Tutkielman avulla voidaan pyrkiä tekemään uusia tutkielmia, tutkimuskysymyksiä ja ehkäpä jopa koeasetelmia.</p>	
<b>Asiasanat</b> – soittimet, soitintutkimus, muusikot, neuroverkot, tekoäly, musiikki, musiikin esittäminen, soittaminen, säveltäminen	
<b>Säilytyspaikka</b> Jyväskylän yliopisto	
<b>Muita tietoja</b>	

## Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MUUSIKON JA DIGITAALISEN SOITTIMEN VÄLINEN TOIMINTA JA YHTEENSOPIVUUS</b> .....	<b>2</b>
2.1	Digitaaliset soittimet .....	2
2.2	Muusikon ja soittimen sensomotorinen yhteensopivuus .....	4
<b>3</b>	<b>KEINOTEKOISET NEUROVERKOT MUSIIKISSA</b> .....	<b>7</b>
3.1	Neuroverkot ja niiden toiminta .....	7
3.2	Neuroverkkotyypit.....	9
3.3	Mihin neuroverkot soveltuvat?.....	10
<b>4</b>	<b>TUTKIMUSASETELMA</b> .....	<b>11</b>
4.1	Tutkimusongelma ja -kysymys .....	11
4.2	Tiedonhaku ja tutkimusstrategia.....	11
4.3	Aineiston analyysi.....	13
<b>5</b>	<b>TULOKSET</b> .....	<b>15</b>
5.1	Fyysinen ja tiedollinen ongelmanratkaisu .....	16
5.2	Esteettömyyden tavoittelu .....	18
5.3	Soittajan aikomuksen vahvistaminen .....	19
<b>6</b>	<b>DISKUSSIO</b> .....	<b>21</b>
	<b>Lähteet</b> .....	<b>24</b>

# 1 JOHDANTO

Muusikon näkökulmasta soittimien käyttäminen voi vaatia paljon havaitsemisen ja motorisen toiminnan resursseja. Muusikon tai säveltäjän työ länsimaisessa kulttuurissa on samalla aina vain enemmän tietokonepohjaista, ja samalla yhä useampi meistä käyttää jo päivittäin arjessaan koneoppimista hyödyntäviä tuotteita ja palveluita. Yhdistämällä tietokoneita soittimiin – eli suunniteltuihin musiikinteon välineisiin – voitaisiin päätyä instrumentteihin, jotka eivät aina välttämättä osu mielikuvaan perinteisistä soittimista. Perinteisistä eroavilla soittimilla voitaisiin ratkaista erilaisia ongelmia musiikin soittamiseen ja esittämiseen liittyen, ja edistää uudenlaista musiikillista ymmärrystä. Aihetta olisi syytä tutkia, sillä muusikon ja soittimen välinen suhde on suhteellisen vähän tunnettu ja tutkittu aihe. Erilaisia ongelmia voisi soittimiin liittyen ehkäpä ratkaista kehittyvän teknologian avulla.

Tekoäly ja koneoppiminen ovat muodostaneet erään 2000-luvun alun suurimmista teknologisista trendeistä. Koneoppimisen käsitteitä on kulutettu 2010-luvulla paljon esimerkiksi mediassa ja uutisissa, mutta aiheen tieteellinen tutkimus on ollut myös monimuotoista. Keinotekoisia neuroverkkoja (*artificial neural networks, ANN*) on käytetty viime vuosina erittäin onnistuneesti esimerkiksi kuvan- ja puheentunnistuksessa (LeCun, Bengio & Hinton, 2015, 436), mutta monia sovellutuksia on ollut muun muassa musiikkiesityksissä ja -ehdotuksissa, emootioiden tunnistuksessa ja automaattisessa taiteessa. Neuroverkot näyttävät varsinkin syväoppimiseen liittyen mekanismeina, joilla on voitu automatisoida monimutkaisiakin tehtäviä lähes millä tahansa elämänalalla.

Tutkimuskenttä näyttää tärkeänä muun muassa niin kutsutun tekoälyn käytön ja tutkimusrahoitusten yleistyessä. Aihe saattaa olla nopeasti kehittyvä, ja uuden tiedon tuottaminen voisi auttaa tutkimuksen kehitystä. Tekoäly -termiin voi toisaalta helposti latautua paljon odotuksia. Onko järkevää tai kannattavaa puhutella jokaista kätevää algoritmia tekoälynä? Ainakaan nykypäivän median dominoivassa tekoälyhypetyksessä ei aina oteta huomioon sitä, että nykypäivän keinoäly voi olla huomattavan kapeaa – ehkä useallakin eri tavalla.

## 2 MUUSIKON JA DIGITAALISEN SOITTIMEN VÄLINEN TOIMINTA JA YHTEENSOPIVUUS

Muusikot usein tuntevat oman soittimensa läpikotaisin. Instrumenttien opettelu on usein vaikeaa, mutta samalla palkitsevaa. Soittajavirtuooseissa arvostusta herättävä piirre voi usein olla se, että muusikko tekee jotain vaikeaa ja pääsee esteiden yli. Muusikoilla on tietokoneita käyttäviin soittimiin – perinteisten soittimien tavoin – jonkinlainen aktiivinen ja vastavuoroinen suhde. Omaan itseän yhteensopivan soittimen kanssa toimiminen on helppoa ja vaivatonta. Hyvän soittimen käyttöönotossa ei usein ole esteitä ja sillä soittaminen voi antaa ihanteellisia kokemuksia myös pienellä harjoittelumäärällä. Musiikkia soittaessa ja säveltäessä muusikon erilaiset motoriset ja kognitiiviset tiedot ja valmiudet tulevat optimaalisella tavalla käyttöön.

Sana *soitin* saattaa usein yhdistyä mielikuvaan fyysisestä esineestä, mutta määritelmästä riippuen soittimet eivät välttämättä ole aina suoraan kosketeltavia. Digitaalisenä versiona soittimet vaativat tietokoneen toimiakseen. Vaikka tietokoneita on käytetty musiikissa eri tavoin niiden kehittämisestä lähtien, tietokoneita itse musiikki-instrumentteina on tutkinut – ehkäpä tunnetuimpana varhaisena esimerkkinä – digitaalisen äänisynteesin kehittäjä Max Mathews (Dean, 2009, 18–25). Mathews on esimerkiksi todennut tietokoneella olevan periaatteen tasolla mahdollista tuottaa mitä vain ääniä (Mathews, 1963). Tietokoneiden yhä selkeämmin medioimassa musiikkikulttuurissa ja elektronisessa musiikin luomisessa ei ehkä nykypäivänä ole enää tarvinnut huomioida soittimien tai muusikoiden itsensä rajoituksia samalla tavalla kuin aiemmin. Tietokoneita voisi ajatella ongelmanratkaisuvälineinä, mutta toisaalta ne voisivat mahdollistaa uudenlaisia soittokokemuksia.

### 2.1 Digitaaliset soittimet

Soittimissa on itsessään aina jokin suunniteltu vuorovaikutuspinta. Pianon koskettimet muodostavat pianon käyttöliittymän, jolla soitinta käytetään. Pianoa toisaalta voisi kuvailla myös itsessään musiikin käyttöliittymäksi, jolloin musiikki toimii itseilmaisun välineenä. Termit voivat vaikuttaa – ja saattavat olla eri käyttötarkoituksissa – päällekkäisiä. Tässä tutkielmassa sana *soitin* yhdistyy mihin tahansa suunniteltuun välineeseen, jossa on suunniteltu vuorovaikutuspinta, ja jolla voidaan soittaa tai säveltää musiikkia; *soittimen käyttöliittymä* taas

kuvaa lähinnä soittimen suunniteltua vuorovaikutuspintaa, jolla voidaan pääasiallisesti kontrolloida soitinta.

DMI (*digital musical instrument*) on yleinen määritelmä digitaalisille soittimille ja soittimien käyttöliittymille. DMI sisältää kolme elementtiä: ensimmäisenä käyttöliittymän eli kontrollirajapinnan, jolla syötetään eleitä soittimeen. Toinen elementti on äänen generoinnin yksikkö. Molempia yhdistää kolmas komponentti: sisäinen tiedon yhdistely eli kartoittamisen kerros (*mapping layer*) (Miranda & Wanderley, 2006, 3). DMI:n eri elementtejä voidaan myös kutsua käyttöliittymän, kartoituksen ja äänen synteessin *moduuleiksi* (Mendoza & Thompson, 2017, 413). Erilaiset ”moduulit” ovat esimerkiksi akustisissa instrumenteissa osin päällekkäisiä, mutta moduuliajattelulla voidaan ymmärtää digitaalisia versioita helpommin, ja varsinkin helpottaa instrumenttien tutkimista ja rakentamista. DMI:t ovat usein uudelleenohjelmoitavia (Malloch & Wanderley, 2017, 440). Voi tosin olla joskus aiheellista kysyä, onko instrumentti itse enää sama, jos sen sisäinen kartoitus eli sisään- ja ulostulevan tiedon yhdistely muutetaan. Mendozan ja Thompsonin (2017, 414) mukaan digitaalisen soittimen moduulit voidaan ajatella prosesseina, jolloin muusikon omia preferenssejä voitaisiin kartoittaa koneoppimisella. Soitin voidaan siis tehdä koneoppimisen avulla soittajalleen sopivaksi, toisin sanoen helpoksi ja esteettömäksi käyttää, jolloin soittimen voisi ajatella jopa ymmärtävän muusikon aikomuksia.

Miranda ja Wanderley (2006) jaottelevat digitaalisia soittimia neljään kategoriaan: Ensimmäisenä akustiset instrumentit, joita on muokattu sensoreilla. Toisena elekontrollerit, joiden kontrollirajapinnat ovat mallinnettu akustisista soittimista. Kolmannen ryhmän muodostavat jo olemassa olevien instrumenttien inspiroimat elekontrollerit, jotka pyrkivät ylipääsemään jonkin alkuperäisen version sisäinen rajoituksen. Viimeisenä eli neljäntenä ovat vaihtoehtoiset kontrollerit, jotka eivät muistuta mitään tiettyä instrumenttia. (Miranda & Wanderley, 2006, 21.) Näiden kategorioiden takana voi nähdä jaon; joko perinteisten soittimien elekokoelman mukailun tai välttelyn. Toisaalta joissain soittimissa voitaisiin jokin erityisen epäergonominen ele korvata toisella. Eräs jako voidaan todeta olevan myös säveltämisen (*composition*) ja esityksen (*performance*) välillä, vaikkakin raja on häilyvä (Dean, 2009, 29).

Digitaaliset soittimet ovat siis tietokonetta hyödyntäviä välineitä, joista saadaan ulos – ainakin usein – ääntä. Syötteeksi ne vaativat *eleitä*: Eleet ovat toisaalta kytköksissä fyysiseen liikkeeseen, mutta ne voidaan ajatella myös ihmisen havaitsemisen ja toiminnan kategoriaina.

Eleet ovat tällöin vahvasti yhteydessä kehollisuusparadigmaan. (Godøy & Leman, 2010.) Jenseniuksen ja Wanderleyn (2010) mukaan musiikillisia eleitä voidaan tarkastella kommunikaation muodon, ympäristön kontrollin ja metaforien kautta. Heidän mukaansa eleitä on käytännössä musiikkia tuottavia, kommunikatiivisia, äänen tuottamista tukevia ja ääntä saattavia eleitä. Elekategoriat ja varsinkin metaforiset eleet ovat käytännössä ehkäpä laajimmillaan miltei mitä vain muusikon toimintaa. Eräänä ongelmana voitaisiin nähdä esimerkiksi se, että kaikki muusikon eleet eivät välttämättä kuulu esimerkiksi pianoa soittaessa. Useat eleet voivat kuitenkin vahvistaa musiikin välittämää viestiä.

De Souzan (2017) mukaan soittimista saadaan aina takaisin jonkinlaista palautetta (*feedback*). Palautteen voidaan ajatella kiertävän soittimesta takaisin käyttäjälleen, muodostaen palautesilmukan (*feedback loop*). Palaute voi auttaa muusikkoa muun muassa ohjaamaan esityksen eri Aspekteja. (De Souza, 2017, 45.) Palautetta voi olla toisaalta monenlaista, kuten eri aistimodalityetteihin perustuvaa. Teknologian avulla erilaisia palautesilmukoita voi olla myös toisiinsa kytköksissä ehkä jopa mielivaltainen määrä, jonka avulla muusikko pystyisi ymmärtämään soittamaansa musiikkia paremmin. Harjoittelemalla soitinta toistojen avulla läpikotaisin muusikko voi oppia soittimen palautteen ulkoa, jolloin reagointi soittimeen mahdollistaisi soittamisen ja musiikin esittämisen suunnittelua ja ennakointia. Läpikotaisin opeteltu soitin on helppokäyttöinen. Toisaalta helposti opittava soitin voisi antaa yhä useammille mielekkäitä soittokokemuksia.

Koska kolmiosainen DMI:n määritelmä jää helposti hieman yleiseksi, on syytä tarkastella soittimia, joissa on aktiivinen vuorovaikutussuhde muusikon ja soittimen välillä. Aktiivinen vuorovaikutus on siis muusikon päätöksenteon mahdollisuutta ja soittimesta tulevaa palautetta tehdyistä valinnoista. Valintojen tekeminen mahdollistaa sen, että muusikko voi soittimilla ilmaista jotakin. Erilaisten valintojen tekemisen yleisö voisi toisaalta tulkita kontekstin mukaan, jolloin muusikon valinnat näyttäytyisivät ilmaisuna. Konteksti voisi olla laajimmillaan oman kehon ja psykologisten tilojen lisäksi ympäröivä kulttuuri.

## **2.2 Muusikon ja soittimen sensomotorinen yhteensopivuus**

Muusikon ja soittimen sensomotorinen yhteensopivuus ei ole täysin ongelmaton aihe. Helppokäyttöisen ja esteettömän soittimen luominen ei ole välttämättä yksinkertaista, sillä

jokainen soitin sopii eri muusikoille eri tavoin. Soittaminen vaatii joustavuutta, mutta myös soittokokemuksia voidaan aktiivisesti parantaa ratkaisemalla soittamista häiritseviä ongelmia. Soittimet toimivat välikappaleina musiikin ilmaisussa, jossa soittimen kartoitus eli sisäinen tiedon yhdistely kantaa muusikon aikomuksia yleisölle saakka.

Soittimella voidaan saada tietoa ja luoda merkityksiä muusikon kehon suhteesta ympäristöön. Muusikon ja soittimen sensomotorisen yhteensopivuuden koostuu havaitsemisen ja toiminnan yhteyksistä: Monimuotoisen aistitiedon jakamisesta, sisään tulleen tiedon tehokkaasta prosessoinnista ja näiden lisäksi tähän tietoon ja sen prosessointiin reagoimisesta, eli käyttäytymisestä ja motorisen järjestelmän käytöstä. Wanderleyn ja Orion (2002) mukaan interaktiivinen tietokoneita hyödyntävä musisointi on vuorovaikutuksen alue, jossa muusikoilta vaaditaan useita erilaisia kognitiivisia ja motorisia taitoja ja valmiuksia. Tietokoneita käyttävässä musisoinnissa on toisaalta eräänä piirteenä se, että vuorovaikutus on kaksisuuntaista kommunikaatiota muusikon ja koneen välillä (Wanderley & Orío, 2002). Felsin mukaan (2004) uudenlaisten instrumenttien suunnittelussa eräänä päämääränä on tehdä ruumiillistettuja (*embodied*) soittimien käyttöliittymiä: sellaisen saavuttamiseksi dialogi soittimen kanssa on tärkeää, ja dialogia voidaan toteuttaa tekemällä käyttöliittymä helposti käytettäväksi tai antaa uniikkeja ääniä tuotettaviksi. (Fels, 2004, 675.) Jos soittimesta ei siis saa helposti käytettävää, voi palautteen tehdä niin mielenkiintoiseksi, että soitin koukuttaa muusikon aktiivisesti kokeilemaan ja oppimaan soittimen mahdollisuuksia.

Musiikkia esittäessä on mahdotonta jakaa kaikkia motorisia toimintoja yksittäisiksi, joten muusikon pitää usein osata kontrolloida soitinta ilman kognitiivisia prosesseja ja reagoida soittimen palautteeseen. Instrumenteille spesifejä liikkeitä täytyy opetella ja hioa. (Nijs, 2017, 54–55.) Sulavasta soittamisesta pitää tulla tavaksi tullutta toimintaa, jossa aivoilta ei vaadita paljoa aktivaatiota. Soittimia pitää myös opetella kokemalla itse sen erilaiset potentiaalit. (De Souza, 2017, 19–29.) Yhteensopivuuden voisi ajatella syvällisesti aktiivisena toimintana, johon tarvitaan ennakkointia ja keskittymiskykyä. Joskus muusikko voi myös poiketa suunnitelmistaan soittamisen aikana, jolloin soittimien soittaminen vaatii kognitiivista joustavuutta. Toisaalta jotkin harjoitellut motoriset toiminnot voivat joskus muodostua automaattiseksi toiminnaksi, jolloin soittajalla ei ole joustavuutta välttämättä ehkä enää samalla tavalla. (Nijs, 2017, 54.)

Kun yksilöllä on suuri kontrollisuhteen intiimiys (*control intimacy*), hän voi kommunikoida ideoita ja emotioita tehokkaasti soittimella kuin se olisi oman kehon jatke. Intiimiys on siis



soittajan havaitsema yhteensopivuus laitteen käytöksen ja operoinnin välillä. (Fels, 2004.) Soittimet tuovat toisaalta rajoituksia ja mahdollisuuksia eleellisiin toimintoihin; Monet motoriset toiminnot pitää sovittaa instrumentin vaatimuksiin (Nijs, 2017, 54). Wanderleyn ja Orion mukaan (2002) varsinkin ominaisuudet kuten opittavuus, uuden tutkittavuus, ja ominaisuuksien ja rytminen kontrolloitavuus ovat olennaisia soittimen käytettävyyteen liittyen. Instrumentin vaatimuksien ei toisaalta tarvitse olla täysin staattisia, ne voivat esimerkiksi muuttua ajan kuluessa. Wesselin ja Wrightin mukaan (2002) intiimi kontrolli vaatii soveltuvaa syötteen ja vasteen välistä viiveaikaa eli latenssia, sen olisi syytä olla minimaalinen. Soittimien suunnittelussa on siis otettava huomioon erilaisia ongelmia ja ratkaista niitä tehokkaasti.

Muusikon näkökulmasta katsottuna voitaisiin puhua myös soittimen sulautumisesta soittajaansa (Nijs, 2017, 55). Voisi ajatella, että soittimen sulautumisen ytimessä on kokeminen soittimen sopivuudesta itselle, joka on usein kytköksissä vähitellen tapahtuvaan soittimen opettelu prosessiin. Äärimmillään sulautuminen voisi johtaa *inkorporoitumiseen*, jossa Nijsin (2017) mukaan muusikon tarkkaavaisuus kohdentuu ulkoiseen maailmaan sisäisen sijaan. Tällöin soitin ei häiritse kehon luonnollisia tapoja välittää kokemuksia ja tietoisuus on varattu soittimen palautteeseen. Kokemus soittimesta voi olla mahdollisesti jossain määrin pysyvä ja intuitio soittimesta voi säilyä myös silloin kun soitin ei ole läsnä. (Nijs, 2017, 50–52.) Nijs myös argumentoi, että sulautumisella on kehollinen pohja, jossa sensomotorinen kokemus kehon kongruenssista instrumentin kanssa ilmentyy eri tasoilla soittamisen optimaalisena kokemuksena. Inkorporaatio voi toisaalta olla vaikeasti todennettava aihe sinällään, mutta sen kautta ja avulla voitaisiin luultavasti selittää asioita aiempaa monipuolisemmin.

### 3 KEINOTEKOISET NEUROVERKOT MUSIIKISSA

Musiikissa voitaisiin ajatella olevan vahva matemaattinen pohja; yläsävelsarjan lisäksi esimerkiksi melodioiden voisi ajatella koostuvat useista erilaisista matemaattisista suhteista. Luovat aikomukset muuntuvat muusikon kehollisten eleiden kautta väliaineen, kuten ilman, jaksollisiksi värähtelyiksi. Joskus eleen muuttaminen ääneksi voi olla hankalaa. Muusikoille ja säveltäjille vaikeita asioita voitaisiin ehkäpä ratkaista erilaisilla tilastollisen päättelyn malleilla, kuten esimerkiksi keinotekoisilla neuroverkoilla. Verkot muodostavat erään yleisen strategian instrumentin kartoituksen tekemiseen eksplisiittisten kartoitusten lisäksi (Miranda & Wanderley, 2006, 15). Neuroverkkoja on käytetty esimerkiksi eleiden ja äänisynteesin yhdistämisessä (Lee ja Wessel, 1992), mutta ne ovat mahdollistaneet musiikkitieteellisten aiheiden paremman tutkimisen, kuten musiikillisen kognition tutkimisen ja äänenvärien luokittelun (Bharucha, 1987 ; Cosi, De Poli & Lauzanna, 1994).

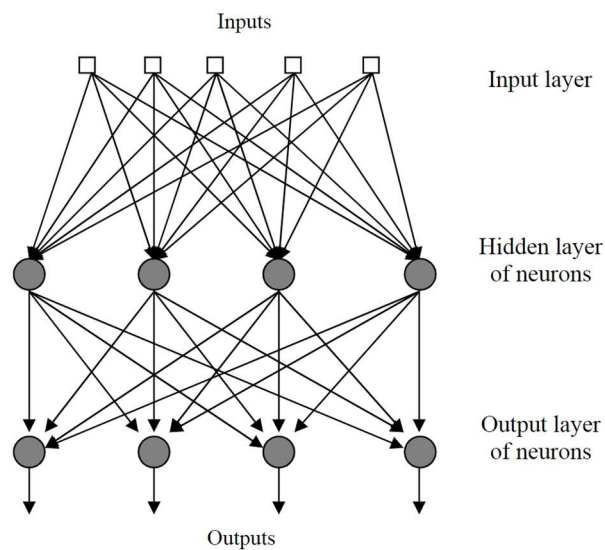
Neuroverkkoja voidaan pitää algoritmien kategoriana (Rowe, 1996, 93), mutta myös luokitella alisymbolisen tekoälyn kategoriaan (Wiggins & Smaill, 2000: 29-31), jossa korkeamman tason symbolinen tieto on hajautettuna. Lähellä alisymbolisuutta on myös käsite konnektionismi, jossa yksinkertaiset tiedonkäsittely-yksiköt muodostavat verkkoarkkitehtuurin (Medler, 1998, 21). Tällaisesta jaetusta rinnakkaisprosessoinnista voidaan joskus käyttää nimitystä *parallel distributed processing (PDP)* (Toiviainen, 2000, 47 ; Roads, 2001, 904 ; Medler, 1998, 22).

#### 3.1 Neuroverkot ja niiden toiminta

Keinotekoisien neuroverkkojen toimintaa esitellään usein ihmisaivojen analogioiden kautta. Onkin totta, että neuroverkot jäljittelevät aivojen rakennetta ja toimintaa yleisellä tasolla (Wiggins & Smaill, 2000: 31), mutta samankaltaisuuden voisi sanoa olevan ainakin osin metaforista. Ihmisaivojen ja neuroverkkojen välillä on eroja: Biologisessa hermostossa kulkeville neurotransmittereille ei ole olemassa ainakaan helposti ymmärrettävissä olevia digitaalisia vastineita. Neurobiologiaan vertaaminen voi kuitenkin helpottaa verkkomalleihin tutustumista, niiden ymmärtämistä ja tutkimista.

Neuroverkot oppivat niille näytettyjen numeromuotoisten esimerkkien avulla asioita. Niiden rakenne perustuu useisiin yksittäisiin noodeihin eli neuroneihin, jotka ovat yhteydessä toisiinsa

(Wiggins & Smaill, 2000, 31-32). Jokainen neuroni vastaanottaa ja lähettää numeroita. Yksittäiseen neuroniin saapuneet numerot summataan. Summaan lisätään kynnsarvo, jonka avulla määritetään, kuinka helposti yksittäinen neuroni aktivoituu. Mitä helpommin neuroni aktivoituu eli neuroniin saapunut summa ylittää kynnsarvon, sitä vahvempia yhteyksiä kahden neuronin välille syntyy. Vahvempi painotus eli yhteys tarkoittaa merkitsevän yhteyden oppimista esimerkeistä. Epälineaarisuuden verkkoon tuova aktivaatiofunktio tuottaa uuden arvon seuraavalle neuronikerrokselle, jolloin sama prosessi alkaa seuraavan kerroksen neuroneissa. (Toiviainen, 2000, 52 ; Haykin, 2009, 10-12 ; LeCun, Bengio & Hinton, 2015, 436.) Verkot siis pyrkivät löytämään esimerkkien avulla oikean yhdistelmän painotuksia – tilastollisia yleistyksiä – joiden avulla voidaan ratkaista käsillä oleva ongelma.



KUVA 1. Eteenpäin syöttävä neuroverkko (Chow & Cho, 2007, 15).

Neuronit muodostavat verkkoihin kolmentyyppisiä kerroksia, joita ovat syötekerrokset (*input layer*), piilokerrokset (*hidden layer*) ja tuloskerrokset (*output layer*) (Rowe, 1996, 94). Wigginsin ja Smaillin mukaan (2000, 32) verkon tekijä ei voi olla aina täysin varma siitä, että neuroverkko tekee sitä mitä sen pitäisikin: Koska piilokerrokset ovat näkymättömissä, niiden sisäisestä toiminnasta ei voida aina tietää paljoakaan. Eräs yleinen ongelma on huonoon yleistyskykyyn johtava ylisovittuminen (*overfitting*), joissa esimerkkien ominaisuuksia opitaan liian tarkkaan (Srivastava, Hinton, Krizhevsky, Sutskever & Salakhutdinov, 2014). Esimerkiksi musiikillista ylisovittumista voisi tapahtua niin, että mollisointuja tunnistava verkko ei pystyisi tunnistamaan kuin ainoastaan juuri ne esimerkit – kuten tietyt sointukäännökset – joilla verkkoa on alun perin opetettu. Ongelmanratkaisumalleina verkkojen pitäisi siis osata oppia yleistämään tietoa esimerkeistä sopivalla tavalla; esimerkiksi tunnistamaan mollisoinnun yleiset ominaisuudet.

## 3.2 Neuroverkkotyypit

Neuroverkkomallien jaottelut ovat usein oppimistyyleihin ja rakenteisiin perustuvia, vaikkakin käytännössä tärkeä jako on siinä, sopivatko neuroverkot tehtävään muita koneoppimismetodeja paremmin. Oppimisen tyylejä on erilaisia: *ohjatussa oppimisessa* verkolle annetaan esimerkkejä ja samalla kerrotaan, mitä sen pitäisi oppia esimerkeistä (LeCun, Bengio & Hinton, 2015, 436 ; Schmidhuber, 2015, 4). Tästä tapauksena käden liike voitaisiin yhdistää syntetisaattorin äänenkorkeuteen: neuroverkolle näytetyt esimerkit voisivat olla samanaikaisesti näytettyjä käden asentoja ja syntetisaattorin ääniä. Oppimisen jälkeen verkko vaihtaisi sulavasti numeroita eli äänenkorkeutta näytettyjen käden asennoissa ja niiden välimuodoissa. *Ohjaamattomassa oppimisessa* neuroverkko opettelee itsenäisesti sille annetun tiedon yhteisiä tekijöitä (LeCun, Bengio & Hinton, 2015, 436 ; Schmidhuber, 2015, 4). Esimerkiksi verkolle voitaisiin antaa Bachin koraaleja MIDI-muodossa kuultavaksi. Ennen pitkää useiden esimerkkien jälkeen verkko osaisi tunnistaa, onko kuultu kappale Bachin säveltämä vai ei. *Puoli ohjattu oppiminen* on yhdistelmä ohjattua ja ohjaamatonta (Caramiaux & Tanaka, 2013).

Haykin (2009, 21-24) on jaotellut verkkoja niiden rakenteisiin perustuen: eteenpäin syöttävät verkot (*feedforward networks*) ja takaisinkytketyvät verkot (*recurrent neural networks*). Eteenpäin syöttävät verkot toimivat siinä mielessä yksinkertaisesti, että numeroita lasketaan eri alusta loppuun kerroksittain järjestyksessä. Takaisinkytketyvissä malleissa neuronien yhteyksiä on myös taaksepäin: neuronin tuottamia numeroita voidaan ohjata takaisinpäin verkkoon (LeCun, Bengio & Hinton, 2015 ; Medler, 1998, 57), jolloin niiden voisi ajatella muistavan tietoa. Edellisen soinnun muistaminen hyödyttääkin esimerkiksi sointukadenssien säveltämistä. Erilaisia verkkoja ja niiden topologioita on kuitenkin paljon erilaisia. Jotkin verkkomalleista eivät välttämättä sisällä piilokerroksia ollenkaan, kun toisaalta niitä voi joskus olla hyvinkin monia (Haykin, 2009, 21-24). Mitä enemmän kerroksia ja laskutoimitusvaiheita verkossa on, sitä syvemmin oppivasta eli *syväoppivasta* verkosta voidaan puhua (Schmidhuber, 2015).

### 3.3 Mihin neuroverkot soveltuvat?

Neuroverkot siis ovat koneita, jotka sisältävät monia rinnakkaisia prosessointiyksiköitä kerroksiin jakautuneina. Ne oppivat asioita esimerkkien avulla ja niissä tieto tiivistyy kerros kerrokselta. Neuroverkot voisi nähdä toisaalta tilastotieteellisinä malleina, sillä ne toimivat matemaattisesti ja oppivat asioita tilastollisten suhteiden avulla. Käytännössä neuroverkkojen tekeminen saattaa vaatia asiantuntemusta, ja erilaiset neuroverkkomallit saattavat sopia eri tehtäviin eri tavoin.

Fiebrink ja Caramiaux (2018) ovat esittäneet musiikkiin liittyviä tavoitteita – joihin muusikko ja tekoälykin voivat pyrkiä: neuroverkoilla voidaan tunnistaa asioita, kartoittaa eri asioiden yhteyksiä, seurata tai jäljittää toimintaa ja sen ominaisuuksia, löytää uusia tiedon representaatioita ja tehdä yhteistyötä. Fiebrink ja Caramiaux ovat ajatelleet koneoppimisjärjestelmiä jopa yhteistyökumppaneina uusien asioiden löytämisessä ja reflektoinnissa. (Fiebrink & Caramiaux, 2018, 187–190.) Tämän kautta mietittynä neuroverkoilla voitaisiin esimerkiksi tehdä personalisoituja soittimia, joiden avulla muusikko voisi esimerkiksi oppia enemmän. Tilastollisesta näkökulmasta Caramiaux'n ja Tanakan mukaan (2013) neuroverkoilla tehtävä eleiden ja äänen sulava yhdistäminen (*regressio*) ja eleiden kategorisointi (*klassifikaatio*) ja niiden yhdistelmät ovat yleisimpiä koneoppimistehtäviä digitaalisissa soittimissa. Toisaalta koneoppimisella voidaan tehdä muutakin: *tiedon osittamista* alueisiin (*segmentaatio*), *tiedon ryhmittelyä* samankaltaisuuden perusteella (*klusterointi*) ja *ennustamista* aikaisemman tiedon perusteella (*prediktio*). (Caramiaux & Tanaka, 2013.) Neuroverkkoon syötettävä tieto voi lähtökohtaisesti olla melkein mitä vain esimerkkejä, joista voidaan eritellyistä numeroista yhdistellä tietoa.

Kaiken kaikkiaan neuroverkot pystyvät sellaiseen päättelyyn ja ongelmanratkaisuun, joka muusikoille ja säveltäjille itselleen voi olla vaikeaa. Neuroverkoilla voitaisiin pyrkiä ratkaisemaan erilaisia ongelmia, ehkäpä luomaan aiempaa esteettömiä musiikin tekemisen kokemuksia ja niiden voisi matemaattisemmin ajatella myös vahvistavan muusikon aikomuksia. Datan ja laskennan yleisen määrän kasvamisen voidaan nähdä potentiaalisesti tuovan lisää tulevaisuuden onnistumisia neuroverkoille, ja niiden suurimpia hyötyjä ovatkin niiden tuloksellisuus manuaaliseen työhön nähden (LeCun, Bengio & Hinton, 2015, 436). Tekoälyn muotona neuroverkot ovat kuitenkin varsin heikkoa tekoälyä, jossa nykypäivänä verkot tietävät lähinnä vain sen mitä ihmiset ovat niille opettaneet.

## 4 TUTKIMUSASETELMA

### 4.1 Tutkimusongelma ja -kysymys

Koska muusikon ja soittimen välinen suhde on Nijsin (2017, 56) mukaan suhteellisen harvoin tutkittu alue, aiheesta todennäköisesti saattaa löytyä uusia aukkoja ja näkökulmia. Neuroverkot liittyen varsinkin musiikilliseen tekoälyyn voi olla kehittyvä tutkimusaihe. Kehollisen kognition lisäksi tietojenkäsittelytiede on osin sopiva emotieteenala, sillä se liittyy olennaisesti muun muassa interaktiivisen musiikin ja tekoälyn tutkimukseen. Kirjallisuuskatsauksen avulla pyritään vastaamaan tutkimuskysymykseen:

- *Mitä ja minkälaisia sensomotorisuuden kytkeytyviä ongelmia keinotekoisilla neuroverkoilla on voitu ratkaista digitaalisissa soittimissa?*

Aihetta tutkitaan ongelmien löytämisen ja ratkaisemisen näkökulmasta, jolloin teknologian hyödyntäminen ja käyttö keskittyy pitkälti tarvelähtöisyyteen. Uusien teknologioiden voisi toisaalta kuvailla potentiaalisesti mullistavan musiikin kokemista: Näkemys voi olla osin teknologialähtöinen, joten tätä mahdollista asenteellisuutta pyritään vielä refleктоimaan tutkielman edetessä.

### 4.2 Tiedonhaku ja tutkimusstrategia

On perusteltua käyttää integroivaa kirjallisuuskatsausta, koska integroiva metodi sallii monenlaisilla metodeilla tehtyjen tutkimusten yhtäaikaista analysointia (Salminen, 2011, 8). Toisaalta aiheesta voitaisiin nähdä viitteitä eräästä toisesta systemaattisesta katsausta etäisesti muistuttavasta metodista: kartoittavasta kirjallisuuskatsauksesta (*scoping review*), koska tutkimuskysymykset eivät ole tarkkarajaisia (Dijkers, 2015), ja koska tutkimusagendana on tutkia mahdollisia aukkoja ja hyödyttää tulevaa tutkimusta. Aiheesta rakentuva teoria voisi nimenomaan hyödyttää erilaisten empiiristen käyttäjäkokeiden ja uuden tutkimuksen muodostamista. Tutkimuksessa voisi toivottavasti olla mahdollisuuksia tuoda esiin näkökulmia, jonka avulla voitaisiin luoda uusia tutkimuskysymyksiä. Tutkielmalla voitaisiin toivottavasti saada tietoa ja ajatuksia ihmisen ja tietokoneen välisen vuorovaikutuksen mahdollisuuksista. Tieto tutkimuskentästä voi käytännössä hyödyttää uusien musiikin

tekemisen mahdollisuuksien ja kokemusten luomista ja tutkimusta; Muusikon ja tietokoneen yhteistoiminnan kehittäminen voi ylipäätään olla eräs suunta musiikkialan kehittämiseksi. Koska agendana on hyödyttää uuden tutkimuksen tekemistä, aihetta viedään lopuksi kohti sitä, minkälaisia soittimia voisi olla hyvä tutkia lisää myös käyttäjäkokeissa.

Tutkielma on teoria-tutkimus-suhteeltaan abduktiivinen ja tutkielmassa pyritään objektiivisuuteen siinä mielessä, että erilaisia ajatusprosesseja pyritään tekemään näkyviksi. Tässä tutkielmassa pyritään integroivaan temaattiseen synteesiin, jossa teoriasidonnaiset teemat jäsentävät aihetta toivottavasti inspiroivalla ja mielenkiintoisella tavalla. Teemoittelu voi olla toisaalta riskialtista, koska teemat täytyy purkaa auki ja osoittaa niiden tarpeellisuus (Saaranen-Kauppinen & Puusniekka, 2006). Vaikka kartoittavassa katsauksessakin kirjallisuutta pyritään myös yhdistämään, kokoamaan ja vertailemaan (Dijkers, 2015), tässä integroivassa tutkielmassa ei tule olemaan määrällistä kokoavuutta.

Integroivana katsaus eroaa myös narratiivisesta sen kriittisen tarkastelun kautta (Salminen, 2011, 8). Oliverin (2012, 43) mukaan kirjallisuuskatsauksen tulisi aina olla mahdollisimman ajantasainen. Vertaisarvioidut artikkelit voivat nostaa tutkielman uskottavuutta, mutta pelkästään niihin rajoittuminen saattaa jättää ulkopuolelle paljon tutkimuskysymyksiin vastaavia lähteitä. Myös tutkielman vinoutumisen (*bias*) huomioiminen voi olla tärkeää (Salkind, 2010). Vuosien mukaisia hakurajoituksia ei ole, koska sille ei ole perustetta. Hakuja tehdään englanninkielellä, vaikkakin yhteen kieleen rajautuminen voi johtaa vinoutuneempaan otokseen. (University of Toronto, 2019.) Niin kutsuttua harmaata kirjallisuutta sisällytetään tuloksiin, sillä esimerkiksi vertaisarviointia odottavien lähteiden (*pre-published*) ja konferenssipapereiden avulla voidaan saada ajankohtaista tietoa. Siteerauksien yhteydessä voitaisiin pyrkiä refleктоimaan papereiden mahdollisia heikkouksia tutkielman uskottavuuden nostamiseksi. (Oliver, 2012, 44–48 ; O’Leary, 2004.)

Tämän tutkielman aineiston sisäänottokriteerijä (*inclusion criteria*) olivat, että lähteessä on: mainittu neuroverkkoa käyttävä soitin tai sen käyttöliittymä, jolla voi joko soittaa tai säveltää musiikkia. Sisäänottokriteerinä oli myös se, että lähteessä kuvaillaan neuroverkkojen mahdollisuuksia soittamiseen ja säveltämiseen liittyen. Poissulkemiskriteerinä (*exclusion criteria*) olivat, että lähteessä kuvaillaan instrumenttien tai musiikkigenren tunnistamiseen perustuvaa järjestelmää tai muuta tägäys eli avainsana- tai tunnistejärjestelmää, ilman että järjestelmä on itsessään digitaalinen soitin.

### 4.3 Aineiston analyysi

Aineiston määrän ollessa pieni, ei määrällinen kuvaavuus aineistosta ollut kovinkaan todennäköistä, joten analyysi oli laadullista. Aineisto analysoitiin teoriasidonnaisen sisällönanalyysin avulla. Hakupaikkana käytettiin Association of Computing Machinery Digital Librarya. Koska ACM DL on tietokantana erikoistunut tietojenkäsittelytieteeseen, sitä käytettiin ensisijaisena hakulähteenä. Muut hakukoneet olisivat voineet tulla kyseeseen, jos relevanttia aineistoa ei olisi löytynyt tarpeeksi. Erilaisia koehakujen hakusanoja olivat: *neural network, digital musical instrument, instrument, interface, music, musician-instrument relationship, control intimacy, embodiment* ja *user experience*. Oliverin mukaan (2012, 42) Boolean operaattoreita voidaan hyödyntää yleisissä ja tarkkoissa hakuprotokollissa. Koska aikomuksena oli saada aikaan kohdennettu yleinen haku, yhdistelmänä yleiset hakutermit ja Boolean operaattoreista AND ja OR -operaattoreita vastaavat toiminnot antoivat suhteellisen relevanttia materiaalia kohdennetusti. ACM:n advanced search -haussa etsittiin hakusanojen kombinaationa AND-operaattoria vastaavaa toimintoa käyttäen hakusanayhdistelmää *neural network* ja *music* kaikkialta tekstistä. Samalla otsikoista etsittiin myös OR-operaattoria vastaten – eli jompaakumpaa – sanoista *interface* ja *instrument*. ACM tarjosi tuloksia tällöin 36 kappaletta. O’Learyn mukaan (2004, 71–72) hakutuloksia voidaan esimerkiksi rajata sisällön mukaan lukemalla avainkonsepteja sisältäviä artikkeleita yleisemmällä tasolla ja suhteellisen nopeasti, myös listaamalla niitä relevanssin mukaisesti. Otsikoiden ja abstraktien lukemisen jälkeen kriteerien mukaisia lähteitä oli 16 kappaletta.

Googlen Magenta-ohjelman tutkijoiden luomaa artikkelia lukuun ottamatta kaikki erillisen tiedonhaun lähteistä olivat konferenssipapereita. Artikkelit olivat konferensseista New Interfaces for Musical Expression (NIME), Sensor Device Technologies and Applications (SENSORDEVICES), International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI), International Conference on Advanced Visual Interfaces (AVI), International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT) ja WSEAS International Conference on CIRCUITS.

Kaikki lähteet esittelivät erilaisia digitaalisia soittimia, joilla voitiin soittaa tai säveltää musiikkia. Joitakin soittimia oli alustavasti testattu: käyttäjäkokeita esiintyi viidessä artikkelissa, mutta erilaisina. Useassa artikkelissa mainittiin jokin rakentamistavoite, joka saattoi olla esimerkiksi muusikon luovuuden tukemisesta ja muusikon eleisiin adaptoitumisesta ilmaisullisen äänen esittämiseen ja säveltämiseen. Suhteellisen yleinen neuroverkkotyyppi



erikseen haetusta aineistosta oli *kolmikerroksinen monikerrospäseptroni* (*Multilayer perceptron, MLP*). Niiden lisäksi soittimissa oli käytetty rajoitettuja Boltzmannin koneita, GAN (*generative adversarial network*) -verkkoja, Chord2Vec -verkkoja, TDNN (*time delay neural network*) -verkkoja, autoenkooderia ja Deep Q -verkkoja. Taulukkoon (TAULUKKO 1) laitettiin tieto siitä, oliko verkko jokin muu kuin kolmikerroksinen monikerrospäseptroni ("*Verkko oli muu kuin MLP*"): Rasti ruudussa tarkoittaa siis periaatteessa syväoppivaa verkkoja.

Kahdeksassa artikkelissa soitinta tai käyttöliittymää oli kuvailtu älykkääksi käyttämällä sanaa *intelligent*, joko konferenssin nimessä tai artikkelissa itsessään. Muutamissa muissa artikkeleissa, joissa sana ei esiintynyt, soittimien älykkyyttä voisi ymmärtää kuitenkin lähestyttäneen sillä, että lähteessä ilmaistiin soittimen olevan kykenevä esimerkiksi symbolisen tai "korkeamman tason" informaation tunnistamiseen. Näitä tietoja laitettiin taulukkoon (TAULUKKO 1), mutta taulukosta karsittiin ylimääräisiä kategorioita, sillä kaikki verkot ovat esimerkiksi kykeneviä symbolien tunnistamiseen oikealla tiedolla opetettaessa. Neuroverkkojen ominaisuutena on myös se, että ne voivat oppia halutun asian niin, ettei ongelmaa tarvitse formalisoida.

## 5 TULOKSET

Aineiston kuusitoista artikkelia teemoiteltiin. Artikkeleita luettiin useampaan kertaan, ja useamman lukukerran jälkeen artikkelien tietoja alettiin laittamaan Excel-taulukkaan ja Word-asiakirjaan. Teemojen löytyttyä niiden mukaisia asioita ylleviivattiin eri väreillä lähteistä, jotta tiedon yhdistely ja raportointi helpottuisi. Teemoja kuvattiin taulukossa (TAULUKKO 1), jossa teeman ilmeneminen lähteessä kuvataan rastilla tai tarvittaessa tekstillä. Huomionarvoista on, että *ongelmanratkaisun* teema on jaettu taulukossa ensisijaisesti ratkaistavaan ongelmaan eli joko fyysiseen tai tiedolliseen.

Taulukkoa katselemalla voitaisiin ajatella aineistosta löytyvän kolmenlaisia soittimia. Ensimmäisenä tyyppinä soittimet, joissa taulukosta on vasemmalta katsottuna kolme rastia ja teksti ”ei välttämättä”: Soitin opetetaan muusikon ominaisuuksilla ja verkot tekevät regressiota. Esteettömyyden tavoittelu on lähinnä fyysistä ja luova aikomus säilyy soittimessa tietyn ehdoin. Toisena tyyppinä ovat soittimet, joissa soitin on opetettu muusikon ulkopuolisella tiedolla. Taulukossa on fyysinen ongelma tyhjä, mutta sen jälkeen useampi rasti: Ensisijainen ongelma on tiedollinen ja verkot tekevät klassifikaatiota. Esteettömyyden tavoittelu on enemmän tiedollista ja soitin säilyttää luovan aikomuksen vain oikealla datasetillä. Kolmantena ovat muut soittimet, jotka eivät sovi suoraan kahteen muuhun kategoriaan: esimerkiksi soittimet, jotka saattoivat olla välimuoto edellisistä tai tehdä esimerkiksi klusterointia. Neuroverkkojen tilastollinen tehtävä voisi olla jopa yhteydessä tekoälyn muotoon: ensimmäisen kategorian soittimet tekevät regressiota ja toisen kategorian klassifikaatiota. Muista kategorioista on kuitenkin vaikea sanoa aineiston perusteella.

TAULUKKO 1. Teemat, artikkelien yhteys sanaan *intelligent* ja verkkojen syväoppivuus.

Lähteen alkuperä ja vuosi	Artikkelin kirjoittajat	Ensisijaisesti fyysinen ongelma	Ensisijaisesti tiedollinen ongelma	Esteettömyyden tavoittelu	Säilyttää luovan aikomuksen	Yhdistetty sanaan <i>intelligent</i>	Verkko oli muu kuin <i>MLP</i>
SENSOR-DEVICES 2010	Costantini, G., Saggio, G., & Todisco, M.	X	X	X	ei välttämättä		
IUI 2019	Vogl, R., Eghbal-Zadeh, H., & Knees, P.		X	X	X	X	X
WSEAS International Conference on CIRCUITS 2007	Costantini, G., Todisco, M., & Carota, M.	X	X	X	ei välttämättä		

NIME 2003	Modler, P., Myatt, T., & Saup, M.	X	X	X	ei välttämättä		X
IUI 2016	Vogl, R., & Knees, P.		X	X	X	X	X
IUI 2016	Huang, C. A., Duvenaud, D., & Gajos, K. Z.		X	X	X	X	X
IUI 2016	Huang, C. A. (2016).		X	X	X	X	X
AVI 2016	De Prisco, R., Malandrino, D., Zaccagnino, G., & Zaccagnino, R.	X	X	X	ei välttämättä		
NIME 2004	Cont, A., Coduys, T., & Henry, C.	X	X	X	ei välttämättä	X	ei tietoa
NIME 2003	Hoskinson, R., van den Doel, K., & Fels, S.	X		X	X		
IUI 2019	Jayarathne, I., Cohen, M., Frishkopf, M., & Mulyk, G.	X		X		X	X
NIME 2004	Ramakrishnan, C., Freeman, J., & Varnik, K.	X		X	ei välttämättä		ei tietoa
NIME 2004	Goto, S., & Suzuki, T.	X	X	X	ei välttämättä	X	ei tietoa
NIME 2006	Johnson, C. G., & Gounaropoulos, A.		X	X	X		ei tietoa
Google 2019	Donahue, C., Simon, I., & Dieleman, S.	X		X	X	X	X
ICAT 2006	Shin, D., Katayama, A., Kim, K., Kambara, H., Sato, M., & Koike, Y.	X		X	X		

## 5.1 Fyysinen ja tiedollinen ongelmanratkaisu

Teema jaettiin kahteen osaan taulukkoon (TAULUKKO 1), jossa verkkojen voitaisiin nähdä useimmiten keskittyvän ensisijaisesti joko fyysisen tai tiedollisen ongelman ratkaisemiseen. Sensomotorisia ongelmia ratkaistavaksi löytyi useita, ja jako fyysiseen ja tiedolliseen ongelmanratkaisuun voi olla osin tulkittua. Kehollisesta näkökulmasta katsottuna fyysinen ja

tiedollinen ovat toisiinsa syvällisesti sitoutuneita, mutta ongelmien ensisijaisen painotus voi avata aihetta selkeämmin ja tuovan läpinäkyvyyttä aiheeseen.

Ensimmäisen ryhmän soittimissa ongelma liittyi kehon eleen yhteneväiseksi havaitsemiseen äänen kanssa. Fyysisen eleen ja äänen yhteneväisyyden ongelman voisi sanoa olevan kartoitusstrategioiden löytämisessä. Ongelmia ratkaistavaksi ovat esimerkiksi tällöin valinnat eleiksi ja niihin sopiviksi ääniksi. Esimerkiksi De Priscon, Malandrion, Zaccagninon ja Zaccagninon (2016) Marcasmiles -soittimesta on ollut ajatuksena tehdä soittajalleen adaptiivinen soitin, mutta sellainen, jolla myös vammaiset henkilöt voisivat soittaa. Modlerin, Myattin ja Saupin (2003) artikkelissa ongelma oli myös se, että soittimissa erilaiset kehoon kiinnitettävät sensorit saattavat estää tietynlaisia liikkeitä: Neuroverkko voi siis yhdistää monenlaista tietoa ilmaisullisen kontrollin saamiseksi. Sensomotorisesti ajatellen neuroverkoilla on voitu mahdollistaa muun muassa intuitiivisuutta, jossa soitin opettelee muusikon ominaisuuksia. Vaikka soittaminen voi vaatia soittajalta joustavuutta, niin neuroverkkoa käyttävää soitinta voisi myös ajatella joustavaksi itsessään. Uudenlaisen yksilöllisen ymmärryksen, hienomotoriikan ja tehokkaan oman kehon mahdollisuuksien oppimisen pitäisi olla ensisijaisesti fyysistä ongelmaa ratkovissa soittimissa mahdollista.

Toisen ryhmän soittimet, kuten Voglin, Eghbak-Zadehin ja Kneesin (2019), kuin myös Voglin ja Kneesin (2016) rumpukomppien variaatioita antavat soittimet, mahdollistivat etupäässä tiedollisen ongelman eli muusikon vähäisen kokemuksen ongelman ylitsepääsemisen antamalla variaatioita. Toisaalta neuroverkolla voidaan tulkita myös ratkaistavan fyysistä ongelmaa eli syötelaiteiden vähyyttä. Huangin, Duvenaudin ja Gajosin (2016) sointuehdotuksia antavalla Chordripple -soittimella pyrittiin ratkaisemaan lähinnä tiedollista ongelmaa, eli tavanomaisista sointukuluista poikkeamista. Käyttäjäkokeissa ongelmienratkaisustrategioita oli soittimessa suhteellisen paljon: Olemassa olevaan kappaleeseen saatettiin pyrkiä vaihtamaan soitin tai säveltää uutta musiikkia tyhjästä. Joskus neuroverkolta haettiin hyväksyntää soitujen käytöstä, eli ehdotusten joukosta pyrittiin näkemään omat soinnut. Ehdotuksilla pystyttiin edistämään tarkkaavaisuutta ja muusikko joutui aktiivisesti vertailemaan ehdotuksia. Sensomotorisesta näkökulmasta neuroverkoilla on voitu tuoda opetusmerkit osaksi muusikon repertuaaria ja ymmärtää erilaisia musiikillisia konteksteja uusilla tavoilla.

Muilla soittimilla, kuten Donahuen, Simonin ja Dielemanin Piano Geniellä (2019) kokomittaisen pianon 88 kosketinta tiivistettiin muusikolle kahdeksaan painikkeeseen, joiden

avulla musiikkia soitettiin. Yhteisöllisessä Ramakrishnanin, Freemanin, ja Varnikin (2004) Auracle -soittimessa neuroverkon oli osaltaan määrä mahdollistaa usean muusikon yhteissoitto samalla soittimella. Rakentamisen päämääränä oli myös mahdollistaa sitä, että muusikko voi kuulla oman panoksensa soittimen toiminnassa. Johnsonin ja Gounaropouloksen (2006) artikkelissa pyrittiin saada soitin tunnistamaan äänenväriin liittyviä sanoja ja saada soitin muokkaamaan äänenvärejä sanoilla. Tällöin äänenväriin muokkausta – jota voitaisiin pitää säveltämisen muotona – voitaisiin ajatella tekevän perinteisistä soittimista poikkeavalla tavalla. Jos uusilla musiikin esittämisen tavoilla voidaan vähentää loogista päättelyä, niin voisi ajatella muusikon resursseja vapautuvan luovaan toimintaan.

## 5.2 Esteettömyyden tavoittelu

Esteettömyyden tavoittelun teema on demokratisoidun soittimen tavoittelua: esteettömyyttä oli sinällään tavoiteltu usein, mutta eri tavoin. Neuroverkoilla voisi sanoa pyrittäneen soittimiin, jotka toimivat kohinaisen datan kanssa. Tämän lisäksi merkittäviä asioita olivat verkkojen halpuus metodina, reaaliaikaisuus ja symbolinen äänen aktivointi, joka mahdollisti helposti ymmärrettävien yhteyksien luomisen eleiden ja äänen välillä. Monissa artikkeleissa soitin oli muun muassa tehty ei-ammattilaisille.

Fyysisen eleen ja äänen yhteyttä kartoittavat soittimet edistivät varsinkin fyysistä esteettömyyttä. Tätä korosti neuroverkojen pieni latenssi ja toiminta koneoppimisen malleina: niillä pyrittiin saamaan soitin oppiman muusikon haluamia yhteyksiä eleen ja äänen välillä. Constantini, Todisco ja Carota (2007) sanoivat kartoitusstrategian toisaalta vaikuttavan siihen, miten muusikko lähestyy säveltämisprosessia. Modlerin, Myattin ja Saupin (2003) neuroverkko mahdollisti monenlaisten käsien eleiden kartoittamisen, mutta verkon opettaminen oli myös aikaa vievää. Hoskinsonin, Van den Doelin ja Felsin (2003) artikkelissa pystyttiin interaktiivisesti kontrolloimaan äänisynteesiä piirtämällä kuvia. De Priscon, Malandrion, Zaccagninon ja Zaccagninon (2016) Marcosmiles -soittimen käyttökokeiden perusteella 80% muusikoista pitivät soitinta helppokäyttöisenä. Kaikki osallistujat pitivät myös mahdollisena sitä, että vammaiset henkilöt voisivat hyötyä soittimesta. Soittimesta kuvailtiin, että sitä voitiin käyttää muusikon luonnollisilla ilmaisutavoilla. Soitin oli adaptiivinen, jolloin se pystyi mukautumaan muusikon elekokielmiin. Kartoittamisen tekemisessä Contin, Coduysin ja Henryn (2004) artikkelissa todettiin, että yritys ja erehdys -metodilla on mahdollista opettaa

neuroverkko soitin onnistuneesti. Monia soittimia voisi siis kuvailla helposti opittaviksi. Opittavuutta voisi kuvailla ehkäpä jopa soittajan mielialan ylläpidon edistävyytensä.

Toisen ryhmän soittimet, kuten komppi- ja sointuvariaatioita antavia soittimet, ovat etupäässä tiedollista esteettömyyttä edistäviä. Voglin, Eghbak-Zadehin ja Kneesin (2019), kuin myös Voglin ja Kneesin (2016) rumpukomppivariaatiosoittimia kuvailtiin mahdollisesti hyväksyttäväksi työkaluiksi studio-ympäristöihin. Soittimista oli kokeissa todettu, että muusikot olivat suhteellisen innokkaita saamaan uusia ideoita soittimella. Muusikot olivat toisaalta epäroiviä käyttää soitinta live-tilanteissa tarkkuuden ja luotettavuuden takia. Huangin, Duvenaudin ja Gajosin (2016) Chordripple -soittimesta oli tehty myös käyttäjäkokeita: Esteettömyyden osalta monet muusikot halusivat kuunnella aluksi kaikki mahdolliset ehdotukset, jolloin aikaa saattoi kulua tehokkaan työtavan oppimiseksi. Muusikoiden musiikintekotavat saattoivat olla erilaiset soittimen toiminnasta, jolloin käyttö saattoi tuntua vaikealta. Haittapuolena voitaisiin nähdä soittimien kontrolli musiikin tekemiseen. Valinnanvaraa saattoi olla liikaa, jolloin soitin saattoi samalla tuoda esteitä muusikon luovaan toimintaan.

Donahuen, Simonin ja Dielemanin Piano Genie (2019) mahdollisti täysimittaisen pianon soittamisen kahdeksalla painikkeella. Soitinta ei tarvinnut opettaa ja esimerkkien antamiseen ei tarvinnut käyttää aikaa. Neuroverkko teki kuitenkin päätöksiä siitä, *mitä* säveliä soitetaan, kun taas muusikko päätti *milloin* säveliä soitetaan. Verkko mahdollisti esteettömyyttä rajoittamalla muusikon päätöksentekoa, jolloin soittimesta tuli helppokäyttöisempi, mutta samalla rajoitetumpi, sillä muusikko ei voinut itse täysin valita soitettavaa musiikkia. Ramakrishnanin, Freemanin, ja Varnikin (2004) Auracle -soitinta voitiin käyttää usean muusikon voimin jopa ympäri maailmaa. Shinin, Katayaman, Kimin, Kambaran, Saton ja Koiken (2006) artikkelissa neuroverkolla mahdollistettiin ilmarumpujen ja ilmamarimban soittaminen. Eräänä hyötynä artikkelissa todettiin, että soitinta voitiin käyttää fyysisesti pienessä tilassa.

### 5.3 Soittajan aikomuksen vahvistaminen

Monissa papereissa tunnuttiin pyrkivän soittimiin, jotka vahvistavat soittajan aikomuksia. Soittimesta tuleva palaute voidaan neuroverkon avulla tehdä soittajan aikomukseen yhteensopivaksi tai sitä tukevaksi. Teeman voisi ymmärtää yleistajuisena ja tekoälyaspektia

korostavana jopa niin, että soittimen voisi ajatella ymmärtävän muusikon toimintaa. Ensimmäisen kategorian soittimissa neuroverkoilla pystyttiin esimerkiksi mahdollistamaan ennalta näkemättömien syötteiden kartoittaminen. Tällöin on hankalaa sanoa, pystyykö neuroverkko vahvistamaan muusikon luovia aikomuksia ainakaan täydellisesti: merkinnässä käytettiin tällöin tekstiä *ei välttämättä*. Liikkeen ja äänen yhdistävä neuroverkko voi jonkin muun kuin esimerkkieleen nähdessään tehdä jotain yllättävää, jolloin soittimessa on jotain uutta löydettävää. Soittimen ja muusikon voisi toisaalta ajatella pystyvän toimimaan myös osin tahdistetusti yhdessä.

Toisen ryhmän soittimet vahvistivat muusikon aikomusta vain, jos soitin on opetettu sopivilla esimerkeillä (rasti taulukossa 2). Voglin, Eghbak-Zadehin ja Kneesin (2019), kuin myös Voglin ja Kneesin (2016) rytmivariaatiosoittimista oli käyttäjäkokeissa todettu noin kahden kolmasosan osallistujista todenneen, että soitin säilytti muusikon alkuperäisen idean variaatioissaan. Muusikot, jotka yrittivät säveltää muuta kuin EDM-musiikkia, eivät olleet tyytyväisiä variaatioihin. Soitin oli opetettu EDM-musiikin esimerkeillä, joten sopivat esimerkit ovat tärkeä osana neuroverkkosoittimia. Huangin, Duvenaudin ja Gajosin (2016) Chordripple -soitin pystyi antamaan ehdotuksia myös kontekstin mukaisesti, sen voisi sanoa siis ymmärtävän aikomuksen lisäksi musiikillisia konteksteja. Toisaalta joskus soitin sai muusikon vaihtamaan aikomustaan ehdotusten perusteella. Kirjoittajat ajattelivat soittimen pystyvän inspiroimaan jopa muutosten sarjoja, joissa yksi muutos soinnuissa voi vaikuttaa myöhempään päätöksiin. Muutosten sarjoissa kontrollin määrä voi olla ehkä painottunut joko muusikkoon tai soittimeen.

Kolmannen tyypin soittimisa, kuten Donahuen, Simonin ja Dielemanin Piano Genie -soittimesta (2019) oli eräs muusikko sanonut käyttäjäkokeissa, että soitin tuntui jopa hetkellisesti ”lukevan ajatuksia”. Kuitenkin neuroverkko teki melkein pä enemmän päätöksiä kuin muusikko itse. Johnsonin ja Gounaropouloksen (2006) artikkelissa soitin tunnisti äänenväriin liittyviä sanoja. Ainoa artikkeli, jossa neuroverkko ei oppinut vahvistamaan luovaa aikomusta oli Jayarathnen, Cohenin, Frishkopfin ja Mulykin (2019). Siinä EEG-mittauksen ja neuroverkon avulla pyrittiin etsimään musiikkia ja rentoutumaan. Neuroverkkoa voisi soittimessa kuvailla osin autonomiseksi, sillä ulkoisena toimijana neuroverkko pyrki saamaan muusikkoa muuttamaan psykologista tilaansa. Muusikon ja soittimen välinen kontrollisuhde oli tällöin siinä mielessä mielenkiintoinen, että molemmilla toimijoilla ei välttämättä ollut sama tavoite musiikin suhteen.

## 6 DISKUSSIO

Tutkimuksen pyrkimyksenä on ollut vastata siihen, mitä ja minkälaisia sensomotorisuuteen kytkeytyviä ongelmia keinotekoisilla neuroverkoilla on voitu ratkaista digitaalisissa soittimissa. Ylipäätään neuroverkkoja voisi kuvailla monipuolisina ongelmanratkaisuvälineinä ja sen kautta sensomotorisen yhteensopivuuden edistäjinä. Digitaalisten soittimien kartoittamisen välineenä ne voivat ratkaista havaitsemiseen ja toiminnan ymmärtämiseen liittyviä ongelmia, mutta myös auttaa tekemään musiikkia uusilla tavoilla. Neuroverkot voivat tuoda soittajille käyttöön ominaisuuksia, joita ei ilman neuroverkkoa soittimissa olisi. Verkoilla voidaan myös monipuolistaa soittimesta saatavaa palautetta.

Tuloksista kävi ilmi, että neuroverkoilla voidaan ratkaista muusikon fyysisiä, motorisia ja mentaalisia ongelmia: Tärkeänä jakona näkyy se, että neuroverkot voivat oppia muusikon ominaisuuksia, mutta myös tuoda muusikon ulkopuolisia esimerkkikokoelmia osaksi muusikon repertuaaria. Soittimien opittavuuden, ominaisuuksien tutkittavuuden ja soittimen kontrolloitavuuden kannalta tämä jako erottaa neuroverkkosoittimet perinteisistä soittimista. Neuroverkkojen avulla instrumentin vaatimukset voivat esimerkiksi muuttua aikaa myöten. Verkoilla on kuitenkin rajoituksia ongelmien ratkaisemisessa, ne esimerkiksi toimivat tilastollisesti, joka ei välttämättä aina ole optimaalisin lähtökohta inhimillisten ongelmien ratkaisuun. Neuroverkon avulla soitin voi saada myös itse kontrollia musiikillisesti. Soitin voidaan nähdä itsen ulkopuolisena toimijana, mutta toisaalta soittimet voivat olla musiikkoon yhteydessä muodostaen yhtenäisen ”organismien”.

Monien ongelmien ratkaisu saattoi aineiston mukaan aiheuttaa jonkin uuden ongelman, esimerkiksi kokemuksen puutetta korjaava sointuehdotuksia tekevä verkko saattoi antaa ehdotuksia liikaa. Ehkäpä verkoilla voitaisiin ratkaista musiikillisia ongelmia, joita ei tiedetä etukäteen, sillä soittimia voidaan käyttää ennalta suunnittelemattomilla tavoilla. Ehkäpä neuroverkkoja voisi ajatella myös metaforisina peilineuroneina, joiden avulla voitaisiin painottua muusikon sisäisen ja ulkoisen maailman lisäksi tiedolliseen ja fyysiseen maailmaan.

Tiedon luotettavuuden osalta NIME-konferenssin artikkelit (kuusi kappaletta) ovat tieteellisesti korkeatasoisimpia, sillä ne ovat vertaisarvioituja. Konferenssipaperit voivat kuitenkin olla puutteellisia tavalla tai toisella. Ei ole selvää, ollaanko konferenssipapereissa aiheeseen liittyen aina mahdollisimman kriittisiä, ehkä osin papereiden lyhyiden takia. Aineistoon päätyi myös



yksi Googlen Magenta-ohjelman artikkeli. Google ei välttämättä ole täysin tieteellinen instituutio, mutta paperi täyttää sinällään tieteellisen artikkelin tunnuspiirteet. Itse tämän tutkielman osalta voivat aikarajoitteet tuoda vinoumaa. Aineistoa haettiin vain yhdestä paikasta, mutta alkuperäinen haku (21.2.2019) uusittiin kerran uusien paperien varalta (11.3.2019), jolloin kriteerien mukaisia artikkeleita löytyi kaksi lisää. Konferenssipaperit siis ovat suhteellisen nopeasti päivittyvä aineistotyyppi. Sisäänotto- ja poisjättökriteerien kautta aineistoa siivilöityi pois esimerkiksi soittimien ja genrejen tunnistamisen osalta. Toisaalta soittimiin voisi ehkä lisätä neuroverkkoja, joilla tunnistettaisiin ympäristössä olevia tapahtumia ja muutoksia. Eettisyyttä ei myöskään lähdeaineistossa käsitellä, harmillisesti. Eettisyys voi nousta isoon rooliin, sillä esimerkiksi tekijänoikeudet saattavat tulla merkittäväksi keskustelun aiheeksi tulevaisuudessa.

Erytishuomiota voitaisiin tutkielman kontekstissa kiinnittää teknologialähtöisyyteen. Tutkielman olisi voinut tehdä eri tavalla, sillä liika kiinnostus teknologiaan voi olla ongelmallista. Teknologian kehitys ei kerro kaikkea sen hyödyntämisestä ja teknologian käyttö voi muovautua myös sosiaalisesti. Ongelmanratkaisukeskeisyys näyttäisi osaltaan ainakin toimivan musiikkiin ja soittimiin liittyen: teknologiaa voitaisiin käyttää selkeästi tunnistettuihin pulmiin sen sijaan, että sitä käytettäisiin vain teknologian kehityksen nimissä.

Sensomotorisesti yhteensopivien soittimien luomisessa on huomioitavaa se, että neuroverkko pitäisi opettaa juuri oikealla datasetillä eli esimerkeillä, jotta soittimilla voidaan tehdä oikeanlaisia asioita. Oikeanlaisen datasetin valinnan lisäksi neuroverkon rakenteen valinta on ilmeisen tärkeää. Sopivassa ohjelmistoympäristössä neuroverkkoja voi mahdollisesti olla soittimessa niin, että verkkoa opettavan muusikon ei tarvitse välttämättä tietää verkon toiminnasta syvemmin. Esimerkiksi Rebecca Fiebrinkin Wekinator -sovelluksella voidaan tehdä neuroverkkosoittimia, joissa verkon topologiana on yhden piilokerroksen eteenpäin syöttävä verkko. Myös Matlab -ohjelmassa ja MAX/MSP kirjastoilla on mahdollista luoda neuroverkkoja. Googlen Magenta-ohjelman neuroverkkoja käyttäviä tuotoksia löytyy julkaistuna avoimena lähdekoodina ja myös Ableton Live plug-ineina.

Tilastotieteellisesti neuroverkot vaikuttivat tekevän monipuolisesti eri asioita soittimissa, ei pelkästään regressiota tai klassifikaatiota. Fiebrinkin ja Caramiaux'n (2018) musiikillisten tavoitteiden kategoriat myös löytyvät aineistosta. Niillä siis voidaan tunnistaa asioita, kartoittaa eri asioiden yhteyksiä, seurata tai jäljittää toimintaa ja sen ominaisuuksia, löytää uusia tiedon

representaatioita ja tehdä yhteistyötä. Näiden lisäksi ongelmienratkaisu voisi näyttäytyä mielenkiintoisena lisänä kategorioihin. Soittimien voisi kuvailla myös *sulautuvan* soittajaansa. Jos sulautuminen olisi kiertoilmaisu *hyvälle* soittimelle, niin voisiko sensomotorista sulautumista ajatella ilmaisullisuuden mittarina muusikon näkökulmasta katsottuna? Sensomotorisesta näkökulmasta neuroverkot voivat tehdä soittimista yhteensopivampia auttamalla kaikenlaisen uuden löytämisessä. Niillä voitaisiin yhdistellä tietoa esimerkiksi multimodaalisten soittimien luomista varten. Vaikka verkkojen opettaminen voi olla työlästä, pelillistäminen voisi auttaa vaikeasti opittavan soittimen oppimisessa. Neuroverkoilla todettiin olevan positiivisten vaikutusten lisäksi negatiivisia vaikutuksia luovaan toimintaan.

Aineiston teemoittelu ei ollut täysin toisensa poissulkevaa, mutta aiheesta voidaan luoda esimerkiksi uusia kysymyksiä, hypoteeseja ja tutkimusasetelmia. Lisätutkimusta mieltien ainakin käyttäjäkokeiden pohjalta voisi luoda uusia tutkielmia: käyttäjäkokeiden avulla testatuista soittimista voisi tehdä oman katsauksensa, mutta tietoa voisi verrata myös itserakentamaan soittimeen. Koska neuroverkkoja mainostetaan nykypäivänä usein keinoälyyn liittyen, pohdintaa voisi tehdä myös tekoälyn näkökulmasta; minkälaista tekoälyä neuroverkot ovat musiikissa. Aineistossa älykkääksi mainitseminen saattoi olla yhteydessä nykypäivän hypetykseen: Eräs aineiston NIME-artikkeli vuodelta 2003 käytti syväoppivaa verkkoa, mutta aikakausi saattoi olla sellainen, ettei ilmaisia älykkyyteen liittyen käytetty. Selkeämmin haluttaessa tutkia tekoälyä voitaisiin verrata soittimia tekoälyn tunnuspiirteisiin; kuten adaptiivisuuteen ja autonomisuuteen. Tuloksissa esitetyn taulukkoon (TAULUKKO 1) kerätyn tiedon perusteella voitaisiin esittää myös testattava hypoteesi, jossa soitin olisi sitä älykkäämpi, mitä syvemmin oppiva verkko on. Muun muassa vahvistusoppiminen on ilmeisesti suhteellisen vähän tutkittu alue musiikissa, ja ainakin suhteellisen tuoreessa Donahuen, Simonin ja Dielemanin artikkelissa (2019) mainittiin, että ohjaamatonta oppimista on tutkittu yleisesti vähemmän kuin ohjattua.

Tarvitsevatko soittimet välttämättä neuroverkkoja? Soittamisen tai säveltämisen pitää ehkä aina olla jossain määrin vaikeaa, jotta se pysyy mielenkiintoisena ja yleisön arvostamana. Yhteiskunnassa kiinnostus taiteen automatisaatiota kohtaan näyttää nousseen vähitellen, joten musiikin kuunteluun ja kokemiseen liittyen koneoppimisen hyödyntäminen soittimissa voi *vaikuttaa* jopa väistämättömältä. Näyttäisi siltä, että verkkojen käyttö ongelmiin ei välttämättä olisi huono lähtökohta. Ainakin viime aikojen kehityksen kautta voisi ajatella, että ihmisten valintojen tekemisen mahdollisuudet kasvavat myös tulevaisuudessa.

## LÄHTEET

- Bharucha, J. J. (1987). Music cognition and perceptual facilitation: A connectionist framework. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 5(1), 1-30.
- Caramiaux, B., & Tanaka, A. (2013). Machine Learning of Musical Gestures. *NIME* (pp. 513-518).
- Chow, T. W. S. & Cho, S. (2007). *Neural networks and computing: Learning algorithms and applications*. London : Singapore ; Hackensack, NJ: Imperial College Press ; World Scientific.
- Cont, A., Coduys, T., & Henry, C. (2004). Real-time gesture mapping in pd environment using neural networks. *Proceedings of the 2004 Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Hamamatsu, Shizuoka, Japan. 39-42.  
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1085884.1085893>
- Cosi, P., De Poli, G., & Lauzzana, G. (1994). Auditory modelling and self-organizing neural networks for timbre classification. *Journal of New Music Research*, 23(1), 71-98.
- Costantini, G., Saggio, G., & Todisco, M. (2010). A glove based adaptive sensor interface for live musical performances. *Proceedings of the 2010 First International Conference on Sensor Device Technologies and Applications*, 217-220.  
<https://doi.org/10.1109/SENSORDEVICES.2010.47>
- Costantini, G., Todisco, M., & Carota, M. (2007). A neural network based interface to real time control musical synthesis processes. *Proceedings of the 11th Conference on Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Circuits - Volume 11*, Agios Nikolaos, Crete Island, Greece. 41-45.  
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1348610.1348619>
- Dean, R. T. (Ed.). (2009). *The oxford handbook of computer music*. New York: Oxford University Press.
- De Prisco, R., Malandrino, D., Zaccagnino, G., & Zaccagnino, R. (2016). Natural user interfaces to support and enhance real-time music performance. *Proceedings of the International Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, Bari, Italy. 204-211.  
<http://doi.acm.org/10.1145/2909132.2909249>
- De Souza, J. (2017). *Music at hand: Instruments, bodies, and cognition*. New York: Oxford University Press.
- Dijkers, M. (2015). *What is a scoping review*, KT Update, 4(1), 1-4. University of Toronto, Systematic & Scoping Reviews: Methodology Behind the Search Strategies, (viitattu 3.2.2019) <https://guides.library.utoronto.ca/c.php?g=588615&p=4178660>
- Donahue, C., Simon, I., & Dieleman, S. (2019). Piano genie. *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces*, Marina del Ray, California. 160-164. <http://doi.acm.org/10.1145/3301275.3302288>

- Fels, S. (2004). Designing for intimacy: Creating new interfaces for musical expression. *Proceedings of the IEEE*, 92(4), 672-685.
- Fiebrink R. ja Caramiaux B. kirjassa McLean, A., & Dean, R. T. (Eds.). (2018). *The Oxford handbook of algorithmic music*. Oxford University Press.
- Godøy, R. I., & Leman, M. (Eds.). (2010). *Musical gestures: Sound, movement, and meaning*. Routledge.
- Goto, S., & Suzuki, T. (2004). The case study of application of advanced gesture interface and mapping interface: Virtual musical instrument le SuperPolm and gesture controller BodySuit. *Proceedings of the 2004 Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Hamamatsu, Shizuoka, Japan. 207-208.  
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1085884.1085934>
- Haykin, S. S. (2009). *Neural networks and learning machines*. Upper Saddle River: Prentice Hall. osoitteesta: <http://dai.fmph.uniba.sk/courses/NN/haykin.neural-networks.3ed.2009.pdf>
- Hoskinson, R., van den Doel, K., & Fels, S. (2003). Real-time adaptive control of modal synthesis. *Proceedings of the 2003 Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Montreal, Quebec, Canada. 99-103.  
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1085714.1085738>
- Huang, C. A. (2016). ChordRipple: Adaptively recommending and propagating chord changes for songwriters. *Companion Publication of the 21st International Conference on Intelligent User Interfaces*, Sonoma, California, USA. 138-141.  
<http://doi.acm.org/10.1145/2876456.2876465>
- Huang, C. A., Duvenaud, D., & Gajos, K. Z. (2016). ChordRipple: Recommending chords to help novice composers go beyond the ordinary. *Proceedings of the 21st International Conference on Intelligent User Interfaces*, Sonoma, California, USA. 241-250.  
<http://doi.acm.org/10.1145/2856767.2856792>
- Jayarathne, I., Cohen, M., Frishkopf, M., & Mulyk, G. (2019). Relaxation sweet spot exploration in pantophonic musical soundscape using reinforcement learning. *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces: Companion*, Marina del Ray, California. 55-56.  
<http://doi.acm.org/10.1145/3308557.3308686>
- Johnson, C. G., & Gounaropoulos, A. (2006). Timbre interfaces using adjectives and adverbs. *Proceedings of the 2006 Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Paris, France. 101-102. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1142215.1142239>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436.
- Lee, M., & Wessel, D. (1992). Connectionist models for real-time control of synthesis and compositional algorithms. In *Proceedings of the International Computer Music Conference* (pp. 277-277). INTERNATIONAL COMPUTER MUSIC ASSOCIATION.

- Malloch J. ja Wanderley M. kirjassa: Leman, M., Lesaffre, M., & Maes, P.-J. (2017). *The Routledge Companion to Embodied Music Interaction*. New York: Routledge.
- Mathews, M. V. (1963). The digital computer as a musical instrument. *Science*, 142(3592), 553-557.
- Miranda, E. R., & Wanderley, M. M. (2006). *New digital musical instruments: control and interaction beyond the keyboard* (Vol. 21). AR Editions, Inc..
- Medler, D. A. (1998). A Brief history of connectionism. *Neural Computing Surveys*, 1, 18-72.
- Mendoza J. ja Thompson M. kirjassa: Leman, M., Lesaffre, M., & Maes, P.-J. (2017). *The Routledge Companion to Embodied Music Interaction*. New York: Routledge.
- Modler, P., Myatt, T., & Saup, M. (2003). An experimental set of hand gestures for expressive control of musical parameters in realtime. *Proceedings of the 2003 Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Montreal, Quebec, Canada. 146-150. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1085714.1085748>
- Nijs L. kirjassa: Leman, M., Lesaffre, M., & Maes, P.-J. (2017). *The Routledge Companion to Embodied Music Interaction*. New York: Routledge.
- O'Leary, Z. (2004). *The essential guide to doing research*. London: Sage.
- Oliver, P. (2012). *Succeeding with your literature review: A handbook for students*. Maidenhead: Open University Press.
- Ramakrishnan, C., Freeman, J., & Varnik, K. (2004). The architecture of auracle: A real-time, distributed, collaborative instrument. *Proceedings of the 2004 Conference on New Interfaces for Musical Expression*, Hamamatsu, Shizuoka, Japan. 100-103. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1085884.1085906>
- Rowe, R. (2001). *Machine musicianship*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Saaranen-Kauppinen A. & Puusniekka A. 2006. KvaliMOTV - Menetelmäopetuksen tietovaranto. Tampere: Yhteiskuntatieteellinen tietoarkisto. (Viitattu 03.02.2019.)
- Salkind, N. J. (2010). *Encyclopedia of research design*. Thousand Oaks, Calif.: Sage.
- Salminen, A. (2011). *Mikä kirjallisuuskatsaus?: Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin*.
- Schmidhuber, J. (2015). Deep learning in neural networks: An overview. *Neural networks*, 61, 85-117
- Shin, D., Katayama, A., Kim, K., Kambara, H., Sato, M., & Koike, Y. (2006). Using a myokinetic synthesizer to control of virtual instruments. *Proceedings of the 16th International Conference on Advances in Artificial Reality and Tele-Existence*, Hangzhou, China. 1233-1242. [http://dx.doi.org/10.1007/11941354\\_128](http://dx.doi.org/10.1007/11941354_128)

- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhutdinov, R. (2014). Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting. *The Journal of Machine Learning Research*, 15(1), 1929-1958.
- Toiviainen P. kirjassa Miranda, E. R. (toim.) (Ed.). (2000). *Readings in music and artificial intelligence*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers.
- Vogl, R., Eghbal-Zadeh, H., & Knees, P. (2019). An automatic drum machine with touch UI based on a generative neural network. *Proceedings of the 24th International Conference on Intelligent User Interfaces: Companion*, Marina del Ray, California. 91-92. <http://doi.acm.org/10.1145/3308557.3308673>
- Vogl, R., & Knees, P. (2016). An intelligent musical rhythm variation interface. *Companion Publication of the 21st International Conference on Intelligent User Interfaces*, Sonoma, California, USA. 88-91. <http://doi.acm.org/10.1145/2876456.2879471>
- Wanderley, M. M., & Orio, N. (2002). Evaluation of input devices for musical expression: Borrowing tools from hci. *Computer Music Journal*, 26(3), 62-76.
- Wessel, D., & Wright, M. (2002). Problems and prospects for intimate musical control of computers. *Computer music journal*, 26(3), 11-22.
- Wiggins G. ja Smaill A. kirjassa Miranda, E. R. (toim.) (Ed.). (2000). *Readings in music and artificial intelligence*. Amsterdam: Harwood Academic Publishers.