

Pohjola, Ahmaniemi Makkonen, Vartiainen & Karjalainen



Sonifikaatio tanssiteoksen äänimaiseman luomisessa

ARTIKKELI

MUSIIKKI
2 | 2025

DOI: 10.51816/MUSIIKKI.163127

Hanna Pohjola on monitieteisen terveys- ja hyvinvointitutkimuksen dosentti, tanssitaiteen tohtori, tanssipedagogi, terveystieteiden maisteri (liikuntalääketiede) ja fysioterapeutti, joka työskentelee yliopistotutkijana Itä-Suomen yliopistossa.

Teemu Ahmaniemi on tekniikan tohtori ja työskentelee VTT:lle Human Sensing Solutions -tiimin vetäjänä ja projektipäällikkönä useassa terveysteknologiaan keskittyvässä hankkeessa.

Mikko Makkonen on tanssitaiteen maisteri (tanssijantaide), koreografi, tanssija ja tanssinopettaja, joka toimi vuosina 2020–2024 valtionosuustanssiryhmä Tanssiteatteri Minimien taiteellisena sekä tuotannollisena johtajana.

Paavo Vartiainen, FT, työskentelee projektitutkijana teknillisen fysiikan laitoksella Itä-Suomen yliopistossa. Sovelletun fysiikan alan väitöskirjassaan (2017) hän käsitteli ihmisen liikkeen analysointia eri mittalaittein ja ei-matemaattisia menetelmiä käyttäen.

Pasi A. Karjalainen työskentelee Itä-Suomen yliopistossa biosignaalianalyysin ja lääketieteellisen kuvantamisen professorina.

hanna.pohjola@uef.fi

This article examines the experience of real-time movement sonification of artistic practice (e.g., training, creative process, and performance) of a dance performance titled as *Biodatasonaatti* ("Biodata sonata") produced by Dance Theatre Minimi in collaboration with the SonicMove project. In the article, we introduce the method of sonification in the context of performative dance, presenting an overview of the technical development of the applied sonification and further discussing its meaning to the dancer's agency. From this perspective, we argue that the method of sonification used in the artistic practice enhanced the agency of the dancers in three intertwined ways: within the somatic experience (i.e., kinesthetic and interoception) of the dancer, in the communication with the other dancers, and innovatively steered the choreography.

ABSTRAKTI

Viime vuosikymmenten teknologinen kehitys ja sen aikaansaama muutos yhteiskunnassa on muuttanut myös esitystaiteen käytänteitä ja monimuotoistanut taiteenalojen vuoropuhelua. Tanssi, musiikki ja teknologia ovat yhdessä luoneet uudenlaista näyttämöllistä paradigmaa ja käytänteitä (Pajala-Assefa 2023). Tämä näkyy esimerkiksi etenkin erilaisissa interaktiivisissa menetelmissä, joiden soveltamisessa on siirrytty 1980-luvun musiikillisesta interaktiivisuudesta somaattiseen tiedon hyödyntämiseen. Tämän on mahdollistanut liikkeen reaaliaikainen äänellistäminen eli sonifiointi. Tätä voidaan kutsua jopa somaattis-sonifikaatiokänteeksi esittävissä taiteissa. (Giomi 2020.)

Valmiit ja saavutettavissa olevat teknologiat ovat kuitenkin harvoin taidekäyttöön suunniteltuja ja niiden hyödyntäminen taidehankkeissa vaatii monesti useiden välineiden, ohjelmistojen ja käyttöjärjestelmien yhdistelyä sekä muokkausta tai täysin uuden järjestelmän kehittämistä (Pajala-Assefa 2023). Tarkastelemme tässä artikkelissa tanssijan liikkeen äänellistämistä eli sonifikaatiota tanssiteoksen työmetodinä ja sen reaaliaikaisena äänilähteenä. Lähtökohtanamme on tanssin ruumiillistunut liikkeellinen ilmaisu ja sen käyttäminen sonifikaatiossa: kehon liikkeen mittauksen mahdollisuudet ja rajoitukset sekä keuhollisen ilmaisun muuntuminen prosessissa. Artikkelissamme keskitymme erityisesti kuvaamaan esityskaudella 2023–2024 Tanssiteatteri Minimien *Biodatasonaatti*-näyttämöteosta, jossa sonifikaatiota käytettiin taiteellisen prosessin työmenetelmänä sekä esityksen äänimaiseman tuottamisen menetelmänä. Aloitamme esittelemällä ensin sonifikaatiota yleisesti ja sen käyttömahdollisuuksia tanssitaiteessa, josta jatkamme *Biodatasonaatti*-teoksen teknillisen ja taiteellisen prosessin kuvaamiseen. Lopuksi pohdimme kokemukseemme liittyen laajemmin sonifikaation käyttömahdollisuuksia ja kehittämisen kohteita esittävissä taiteissa.

**Pohjola,
Ahmaniemi
Makkonen,
Vartiainen
& Karjalainen**

**Sonifikaatio
tanssiteoksen
äänimaiseman
luomisessa**

Tanssin datavirrasta ääneksi

Sonifikaatio (engl. *sonification*) käsitteenä viittaa prosessiin, jossa dataa eli digitaalisesti välittyvää ja mahdollisesti tallennettua merkeistä ja symboleista koostuvaa koneellisesti luettavissa olevaa informaatiota muutetaan ääneksi.¹ Data voi itsessään olla syntynyt myös havainnoinnin eli mittaamisen tuloksena sekä erilaisissa matemaattisissa prosesseissa, kuten esimerkiksi simulaatiossa. Nykyisin maailmassa lähes kaikki tieto esitetäänkin ja tallennetaan jo digitaalisessa muodossa, joten sonifikaatioon kelpaavaa lähdemateriaalia on loputon määrä. Lisäksi se, miten äänisynteesi toteutetaan, voidaan tehdä äärettömän monella tavalla (ks. esim. Walker ja Nees 2011). Yhtenä mahdollisuutena on liikkeestä mitatun datan äänellistämisen reaaliaikaisesti, jolloin liikkuja voi muuttaa ja laajentaa kokemustaan ruumiillisesta läsnäolostaan ja liikkumismahdollisuuksistaan. Tämä mahdollistaa myös tanssijalle äänimaailman luomisen tanssillaan.²

Sonifikaation käyttäminen ja sen soveltaminen tanssissa on vielä varsin uutta ja luonteeltaan kokeilevaa. Yhtenä edelläkävijänä tanssin sonifikaatiossa on toiminut espanjalainen ryhmä *Instituto Stocos*, joka työskentelee poikkitieteellisten taiteellisten ja koulutuksellisten lähestymistapojen parissa uutta teknologiaa käyttäen. Ryhmä keskittyy erityisesti kehon eleiden, musiikin ja interaktiivisen visuaalisen kuvan välisen vuorovaikutuksen analysointiin, tutkimukseen ja kehittämiseen yhdistäen performatiiviseen kontekstiin abstraktioita, jotka on otettu muista tieteenaloista kuten esimerkiksi tekoälystä, biologiasta, matematiikasta tai kokeellisesta psykologiasta. *Instituto Stocos* on toiminnallaan edistänyt myös sonifikaation käyttökohteiden laajentamista, ja se on osallistunut useisiin EU:n Horizon-hankkeisiin sekä ol-

ARTIKKELIT
2 | 2025

- 1 Ensimmäiset esimerkit sonifikaation käyttämisestä dokumentoitiin 1900-luvun alussa. Näistä ensimmäisessä esimerkissä todennettiin säteilytasoja kuultavilla ”napsauksilla” (ns. Geiger-mittari), kun toisessa taas pyrittiin avustamaan näkövammaisia ja sokeita henkilöitä tekstin lukemisessa välittämällä painetussa tekstissä olleita kontrasteja vaihtelemalla äänten ajoitusta ja niiden sävyjä. (Zaferiou et al. 2025.)
- 2 Gresham-Lancaster (2012) toteaa, että sonifikaation määritelmä on muuntunut viimeisen parinkymmenen vuoden aikana, vaikkakin siihen liittyvät peruskäsitteet ja menettelytavat ovat pysyneet suhteellisen ennallaan: muutoksessa on korostunut erityisesti sonifikaation positio tieteellisenä menetelmänä. Gresham-Lancaster (ibid.) ehdottaakin, että sonifikaation käsitettä tulisi voida lähestyä sekä teknologisetieteellisen että taiteellisen määritelmän kautta. Tässä artikkelissa painotamme sonifikaation käsitteen määrittämistä käytännönläheisesti taiteellisetieteellisestä tanssillisesta näkökulmasta. Ks. lisää sonifikaatiosta myös Walker ja Nees 2011.

lut esimerkiksi mukana järjestäjänä EU:n kulttuurihankkeissa. (Stocos 2023.) Suomessa esimerkiksi koreografi Hanna Pajala-Assefa (2016) on toteuttanut monitaiteellisen Soiva Liike-hankkeen (SoLi), joka tutki kehollisuutta eri alojen taiteilijoiden näkökulmista. Hankkeessa pyrittiin luomaan eri alojen taiteilijoita mukaan kutsuva teknologis-taiteellinen työskentelyalusta, joka mahdollistaisi tutkivan työskentelyn tanssitaidetta, musiikkia ja teknologiaa yhdistäen: metodissa liikettään soittava tanssija on esimerkiksi musiikillis-liikkeellisessä vuoropuhelussa muusikon kanssa. Pajala-Assefan mukaan SoLi-metodissa tavoitteena oli tarkastella liikkuvaa ihmistä subjektina eli aktiivisesti luovana ja aistivana toimijana hänen kokemuksellisuudestaan käsin: keskeistä oli aistivan, ajattelevan kehon ja äänen välinen välitön vuorovaikutus ja siitä syntyvä kehollinen musiikki. (Ibid.)³

Koska sonifikaatio on tapa muuttaa tietoa ihmisaistein havaittavaksi, on eräs sen luonnollisista käyttökohteista ihmisen ja koneen välinen vuorovaikutus. Sonifikaation hyödyntäminen tietokoneiden käyttöliittymissä onkin lähtenyt liikkeelle nimenomaan käyttäjän tarpeista kuten esimerkiksi käyttötilanteisiin tai käyttäjän aisteihin liittyvistä rajoitteista. Esimerkiksi Kildal ja Brewster (2006) käyttivät yksinkertaista pianosyntetisaattoria taulukkotiedon yleiskatsauksen sonifioimiseen tablet-käyttöliittymällä. Ratkaisussa taulukon solujen numero tuotti sitä korkeamman äänen mitä suurempi numero oli sitä osoitettaessa. Tämä tehosti etenkin näkövammaisten taulukon käyttöä ja nopeutti oikean taulukon solun löytämistä osoitinkynän avulla. (Ibid.) Sonifikaatio voi olla siis varsin tehokas keino havainnollistaa mielenkiinnon kohteena olevaa dataa, etenkin kun se on sidottu käyttäjän tuottamaan ohjausliikkeeseen kuten edellä olleessa esimerkissä osoitinkynän paikkaan eli positioon. Tietokoneen käyttöliittymät ja niiden ohjauslaitteet kuten hiiret, osoitinkynät tai näppäimistöt kuitenkin perustuvat vahvasti siihen, että käyttäjä on kiinteän työpisteensä, tavallisimmin pöydän, ääressä ison näytön edessä istuen paikoillaan. Tätä asetelmaa on

**Pohjola,
Ahmaniemi
Makkonen,
Vartiainen
& Karjalainen**

**Sonifikaatio
tanssiteoksen
äänimaiseman
luomisessa**

3 Parhaillaan Pajala-Assefa valmistelee väitöskirjaansa Taideyliopiston Teatteri-korkeakoulussa digitaalisesta koreografiasta. Viimeisimmässä teoksessaan Pajala-Assefa valmisti keväällä 2024 *Sonic Organism*-teoksen yhteistyössä *SonicMove*-hankkeen toimijoiden kanssa. Teos laajentaa sonifikaation käyttöä yleisön ja esiintyjien väliseen vuorovaikutukseen, sillä yleisö osallistui teokseen (ks. lisää Taideyliopisto 2024). Ks. lisää myös Pajala-Assefan ja Aleksandar Korugan sonifikaatiodemosta Itäisen tanssin aluekeskuksessa huhtikuussa 2024 Kuopiossa (Koruga ja Tahiroğlu 2024, 453–454).

viime aikoina haastettu etenkin pelisovellusten käyttöliittymissä: kiinteästä työpisteestä irtautumista ovat edesauttaneet esimerkiksi entistä suuremmat näytöt, virtuaalilasit, kädessä pidettävät ohjaimet sekä optiset ja puettavat anturit, jotka vapauttavat käyttäjän liikkumaan vapaasti tilassa. Tällöin vuorovaikutus sovelluksen kanssa tapahtuu joko kädessä pidettävien peliohjaimien tai kehon liikkeitä mittaavien anturien avulla. Virtuaaliympäristössä tapahtuvan vuorovaikutuksen aikana annettava äänipalaute voi vaikuttaa merkittävästi myös kokemuksen miellyttävyyteen ja luonnollisuuteen (Bosman et al. 2023). Lisäksi äänipalautteella voidaan tehostaa vuorovaikutusta esimerkiksi virtuaaliseen kohteeseen tartuttaessa (Canales ja Jörg 2020). Tämä teknologinen muutos on merkittävää myös sonifikaation soveltamisessa tanssitaiteessa.

Liikettä mittaavat anturit sonifikaatiossa

Kehoon kiinnitettävät, kehon liikkeitä ja positiota mittaavat anturit voidaan jakaa karkeasti inertia- ja optisiin (eli kamerapohjaisiin) antureihin. Seuraavassa keskitymme inertia-antureihin, joiden käyttöön *Biodatasonaatti*-teos pohjautui. Inertia-anturit (engl. *inertial measurement units*) kuten esimerkiksi *Xsens*-anturit perustuvat anturikomponentin sisällä olevaan pieneen massaan, jonka reaktiot erisuuntaisiin liikkeisiin mitataan. Mitattavat suureet ovat tavallisimmin kiihtyvyys, kulmakiihtyvyydenopeus ja magneettinen orientaatio. Nämä kolme suuretta mitataan yleensä kaikissa kolmessa ulottuvuudessa 20–200Hz:n näytteenottotaajuudella. Näistä kolmesta mitatusta suureesta voidaan laskea anturin sijainti ja orientaatio maan magneettikenttään määrittelemään koordinaatistoon nähden: näin pystytään siis mittaamaan sijainti, translaatiokiihtyvyys, rotaationopeus sekä orientaatio maan magneettikenttään nähden. Suureita yhdistelemällä voidaan myös laskea anturin absoluuttinen orientaatio. Inertia-anturit ovat yleensä pienikokoisia ja suhteellisen energiatehokkaita. Niinpä niitä käytetään laajasti kuluttajatuotteissa kuten matkapuhelimissa ja rannelaitteissa. Ne pystyvät mittaamaan hyvin nopeita liikkeen tai asennon muutoksia, mutta

toisaalta absoluuttisen paikan mittaamisessa ne ovat vielä epätarkkoja (ks. esim. Paulich et al. 2018).⁴

Kun sovellusta ohjataan tai käytetään keholla, sonifikaation tarve korostuu. Jos ohjaus tapahtuu eleillä tai osoituksilla ilmassa, mitään fyysistä kosketuspintaa ei ole. Tällöin käyttäjä tarvitsee vuorovaikutuksen tueksi vihjeitä esimerkiksi siitä, mihin ohjaimella tulisi osoittaa: onko esimerkiksi valittuna aiottu suunta, onko käytetty ohjausele oikeanlainen tai menikö esitetty komento perille kohdesovellukseen. Tällaiseen vuorovaikutukseen sonifikaatio sopii erinomaisesti, sillä äänipalautteella voidaan ilmaista tehokkaasti esimerkiksi tavoiteltavan kohteen suunta ja etäisyys sekä kuittaus komennon suorittamisesta (Niinimäki ja Tahiroğlu 2012). Ohjauksen lisäksi sonifikaatiolla voidaan tehokkaasti muokata käytettävän sovelluksen tai pelin kokemusta. Kun liikeanturit voivat jatkuvasti seurata käyttäjän liikkeitä, niihin voidaan liittää äänipalautte, joka rikastaa vuorovaikutusta. Esimerkiksi peliin voidaan näin tehdä äänen avulla entistä immerssiivisempi, kokijalleen ikään kuin upottava äänimaisema. Tällöin virtuaalinen vuorovaikutus voi tuntua fyysisemmältä, kun askellukseen tai osoittamiseen liitetään reaaliaikainen ääni, joka liittyy pelin kontekstiin (Kern ja Ellermeier 2020).

Inertia-antureihin perustuvia mittausratkaisuja on jo markkinoilla tutkimukselliseen liikeanalyysi- ja viihdeteollisuuden animaatiokäyttöön sekä musiikillisiin sovelluksiin useilta valmistajilta. Nämä valmiit ratkaisut tuottavat tyypillisesti kinemaattisen mallin mitattavasta henkilöstä valmistajan omassa ohjelmistossa. Oleellinen työvaihe sonifikaatiomenetelmien soveltamisessa esittämissä taiteissa on laitteisto- ja ohjelmistojen kehittäminen niin, että antureiden mittaama datavirta saadaan lähetettyä viiveettä teoksen harjoittelun ja esityksen aikana käytettäviin äänisuunnitteluohjelmistoihin. Tällöin esimerkiksi tanssijan liikkeelle on valittuna reaaliaikainen ja vastavuoroinen äänellinen vastine: tanssija luo tanssillaan äänimaisemaa ja äänen äärelle herkistyminen luo vastavuoroisesti liikettä. Inertia-anturien datavirrassa data ilmenee tyypillisesti kompo-

**Pohjola,
Ahmaniemi
Makkonen,
Vartiainen
& Karjalainen**

**Sonifikaatio
tanssiteoksen
äänimaiseman
luomisessa**

-
- 4 Absoluuttisen paikan ohella epätarkkuutta ilmenee myös kinemaattisessa mittaamisessa. Mitattaessa *Xsens*-antureiden luotettavuutta eli validiteettia liikkeiden kinemaattisessa kuvaamisessa on huomioitava, että ne eivät ole yhtä luotettava kuten esimerkiksi optinen 3D-liikekaappausteknologia. Anturit soveltuvat erittäin hyvin sagittaalitasolla tapahtuviin liikkeiden mittaamisiin, mutta anturit eivät sovellu yhtä hyvin frontaali- ja transversaalitasoille (ks. esim. Nijmeijer et al. 2023). Sonifikaation taiteellisen soveltamisen kannalta tällä ei kuitenkaan ole merkitystä, vaan validiteetin merkitys korostuisi esimerkiksi tarkemmassa liikkeen suorittamisessa, oppimisessa ja sen mittaamisessa.

nenteittain eli esimerkiksi kiihtyvyydestä ja kulmanopeudesta on käytettävissä kolmen avaruuden suunnan, x- y ja z-akselin, komponentit. Lisäksi on saatavissa kiihtyvyyden, kulmanopeuden ja magneettikentän suuruus eli normi yhtenä lukuna. Sonifikaatiossa komponenttikohtaisen datan käyttö mahdollistaa esimerkiksi suuntariippuvien elementtien luomisen. Kun yksi komponenteista (z-akseli) on pystysuunta, niin tällöin esimerkiksi tanssijan käden nopea liike ylös ja alas voidaan sonifioida tuottamaan ääni, jota ei synny muihin suuntiin tehtävistä liikkeistä. Toisaalta suureen normi eli suuruus voidaan sonifioida sellaisenaan, ja tällöin äänen tuottaminen ei riipu liikkeen suunnasta. Näin ollen tanssijoiden yksilölliset erot liikkeiden suunnissa ja pienet erot antureiden asennoissa eri käyttökerroilla eivät vaikuta tähän sonifikaation osaan.

Antureiden ja sonifikaation yhdistäminen mahdollistaa myös musiikillisen ilmaisun. Eleillä ohjattavat virtuaalisoitimet ovat tästä hyviä esimerkkejä.⁵ Siinä missä fyysiset instrumentit perustuvat vakiintuneeseen käyttöliittymään ja kosketuspintaan, virtuaalisoitimet puolestaan nojaavat antureiden mittaussulotuvuuksiin ja -tarkkuuteen. Ehkä varhaisin eleohjattava instrumentti on theremin, jossa soittajan kädet muokkaavat soittimen muodostamaa sähkökenttää ja tämä puolestaan oskillaattoria, joka syntetisoi äänen. Soittajan toisen käden etäisyys soittimesta muokkaa äänen korkeutta ja toinen käsi puolestaan äänen voimakkuutta. Kun varsinaista kosketusta soittimeen ei ole, soittaja ei saa liikkeistään palautetta tuntoaistin välityksellä. Soittaja ei myöskään saa soittimesta minkäänlaista fyysistä tukea. Siksi thereminin soittaminen ja puhtaan intonaation tuottaminen on sekä vaikeaa että fyysisesti raskasta. (Ks. esim. Nesturkh 1996; Tanaka ja Donnarumma 2018; Yle 2016; Yle 2020.) Liikeantureiden ja nykyaikaisten digitaalisten synteessimenetelmien ansiosta eleohjattavien soittimien tekeminen on kuitenkin teknisesti helppoa. Siinä missä thereminissä käsien etäisyys ohjasi oskillaattorin äänen korkeutta ja -voimakkuutta, voidaan nykyisin mikä tahansa liike tai sen osa määritellä ohjaamaan monimutkaisia äänimalleja uudemmillä synteessimenetelmillä. Lisäksi soittamisen ergonomiaa ja tarkkuutta voidaan parantaa liittämällä liikkeeseen haptinen palaute eli kokonaisvaltainen kosketuspalaute esimerkiksi käyttäjän osoittaessa oikeaan suuntaan.

5 Voidaan puhua myös ns. NIME-soittimista (engl. *New Interfaces for Musical Expression*), joilla viitataan uusien teknologioiden käyttämiseen ja soveltamiseen musiikissa sekä siihen liittyvässä taiteellisessa toiminnassa kuten esimerkiksi esityksissä (ks. lisää NIME 2024).

Palaute voidaan antaa esimerkiksi värinäaktuaattorilla, joka voi olla käyttäjän kädessä, vaikkapa samassa laitteessa kuin liikkeen-turi. (Ahmaniemi 2010.)

Interoseptio tanssijan laajentuvassa toimijuudessa

Sonifikaatio yhdistettynä liikkeeseen tukee vuorovaikutteista ja reaaliaikaista palautejärjestelmää, joka pohjaa kinesteettiseen havainnointiin (Bisig ja Palacio 2016). Tanssin kannalta merkityksellistä on, että sonifikaatio hyödyntää ihmisen kuulojärjestelmän korkeaa resoluutiota ja siten kuuntelija pystyy tunnistamaan pieniä ja jopa näkymättömiä muutoksia kehon liikkeessä, koska ne ilmenevät erotettavina tason, taajuuden tai rytmin muutoksina. Koska tanssijat kykenevät tyypillisesti koordinoimaan liikkeensä musiikkiin ja rytmiin, voi sonifioinnissa käyttää tanssiliikkeissä useita parametreja. Nämä parametrit ikään kuin johtavat akustisiin sormenjälkiin, jotka seuraavat liikkeitä reaaliajassa. Kuultuna liikkeen kokemuksena sonifikaatio tukee paitsi tanssiaskelien ja eleiden ymmärtämistä, myös koordinaatiota ja liikkeiden oppimista. (Grosshauser et al. 2011.) Menetelmänä se ohjaa myös liikkeen laadun, dynamiikan ja nyanssien havainnointia tanssissa (ks. esim. Alborn et al. 2016; Frid, Elblaus ja Bresin 2019), mutta mahdollisesti myös laajentaa tunteisiin perustuvaa vuorovaikutusta esitystilanteissa (Landry ja Jeon 2020). Sonifikaation käyttömahdollisuudet tanssitaiteessa ovatkin siis laajat.

Viime vuosina tunnusomaista sonifikaation soveltamiselle tanssissa on ollut erityisesti reaaliaikainen moniaistisuus ja so-maattinen tieto (Giomi 2020), jolloin tanssijan kehotietoisuus ja vuorovaikutus ympäristöön tulevat mahdollisiksi uudella tavalla. Voidaankin puhua kehon lisääntyneen aistisuuden, erityisesti proprio- ja interoseptisen tiedon dialogista ja kehotietoisuuden syventymisen kokemuksesta.⁶ Kun proprioseptiolla tarkoitetaan kehon ja kehonosien liikkeiden ja lihasjännityksen aistimista, interoseptiolla voidaan aistia kehon elinten toimintaa ja kehon sisäistä tilaa esimerkiksi sydämenlyöntien ja hengityksen kautta.

**Pohjola,
Ahmaniemi
Makkonen,
Vartiainen
& Karjalainen**

**Sonifikaatio
tanssiteoksen
äänimaiseman
luomisessa**

6 Intero- ja proprioseptiikan ohella voidaan puhua myös somaestetiikasta, joka Richard Shustermanin (2008, 2–3) mukaillen viittaa keho-mielen sisäiseen kehotietoisuuteen ja kehon persoonallisen tyylin rakentamiseen ja ilmaisuun. Shustermanin (2012, 197) näkökulma on filosofinen ja korostaa kehon ja mielen vuorovaikutteista suhdetta, kehotietoisuutta ja aistien havainnointia.

Aivosarta eli insulaa on pidetty aivojen interoseptiivisena keskuksena. (Paulus ja Stein 2006.) Interoseptio osallistuu myös allostaattiseen, ympäristön muutoksiin valmistautuvaan kehon säätelyyn, ja siksi interoseptiolla on kytkös myös ympäristön havaitsemiseen. Interoseptiivinen aivoverkosto näyttäisi käsittelevän erityisesti ärsykkeiden merkittävyyttä yksilölle. Allostaattisen interoseptiivisen säätelyn idea onkin avannut uuden näkökulman useisiin yleisimpiin klinisiin tiloihin, kuten ahdistus-, masennus- ja syömishäiriöihin sekä aleksitymiaan, jotka allostaattisessa viitekehyksessä selittyvät ko. säätelyn puutteilla. (Barrett, Quigley ja Hamilton 2016; Brewer, Cook ja Bird 2016; Lyyra ja Parviainen 2019; vrt. myös Paulus ja Stein 2010).

Sonifikaatiolla laajennetun kehon aistisuuden voi tulkita vaikuttavan tanssijan toimijuuteen (Bisig ja Palacio 2016). Toimijuuden yleinen määritelmä viittaa yksilön, yhteisön tai organisaation kykyyn ja mahdollisuuteen tarkoitukselliseen ja itsenäiseen toimintaan tai siitä pidättäytymiseen (Tieteen termipankki 2024). Toimijuuden voidaan ymmärtää syntyvän vuorovaikutuksessa ja yhteisöllisessä toiminnassa, jolloin siihen voidaan liittää usein muita määrittäviä käsitteitä kuten aktiivisuus, intentionaalisuus, osallisuus, vaikutus- ja valinnanmahdollisuus, vapaaehtoisuus sekä taito ja voima valita itse toimintatavat (Kumpulainen et al. 2010, 23). Käsitteeseen liittyvät toimijalähtöiset lähestymistavat korostavat toimijuuden yksilöllisiä ehtoja kuten kokemusta omasta toimijuudesta ja luottamusta siihen (Tieteen termipankki 2024). Toimijuus ja autonomia ovatkin erittäin tärkeitä interaktiivisten järjestelmien suunnittelussa ja toteutuksessa, sillä niiden oletetaan edesauttavan luovuutta ja omaperäisyyttä (Bisig ja Palacio 2016).

Biodatasonaatin äänimaailma taiteen ja tieteen risteyksessä

Biodatasonaatti-tanssiteos toteutettiin Tanssiteatteri Minimien, Itä-Suomen yliopiston, VTT:n ja Aalto-yliopiston SonicMove-projektin⁷ yhteistyönä (ks. esim. Grön 2023). Tanssiteoksen valmistaminen kesti puolisen vuotta ja koostui teknisestä esitetaamisvaiheesta, intensiivisestä harjoitusvaiheesta ja koreografian muotoutumisen vaiheesta esityksiin, joita oli yhteensä kuusi.

7 Ks. lisää SonicMove-projektista esim. Koruga ja Tahiroğlu 2024, 446–449, sekä <https://uefconnect.uef.fi/sonic-move-ihmisen-liikkeen-luova-ja-ekspressiivinen-sonifikaatio/>

Teoksen lähtökohtana ollut sonifikaatio mahdollisti kolmen tanssijan ja tanssijoiden liikkeestä tietoa mittaavien yhdeksän inertialikeanturin välisen vuoropuhelun, jonka myötä liike sai tulla näkyviin ja muuntua ääneksi, kuultavaksi. *Biodatasonaatti* oli myös tanssillinen kysymyksenasettelu inhimillisen ja teknologisen välisestä suhteesta aikana, jossa tiedon mittaaminen ja tulkitseminen korostuvat. Teos pyrki myös nostamaan moniaistisesti esiin tanssijantaiteen kehollista tietotaitoa ja sen kerroksellisuutta. Tanssijoiden liikkeestä mitatusta datasta syntyi teoksen äänimaisema sekä ääneen ja mitattuun dataan reagoiva visualisointi. Teoksen koreografiasta vastasivat Mikko Makkonen ja työryhmä, äänisuunnittelusta ja sonifikaatiosta Josu Mämmi, valosuunnittelusta ja visualisoinnista Veli-Matti Timoskainen, liikeanturien ohjelmointityöstä Jonne Klockars, Aku Sinokki ja Paavo Vartiainen sekä tanssista Katja Mustonen, Sonja Rönkkö ja Virva Torkko-Muñoz. (Tanssiteatteri Minimi 2024.) Teoksen taiteellis-tieteellinen koreografinen prosessi avattiin myös julkiseksi viisiosaisen blogisarjan avulla.⁸ Seuraavaksi tuomme esiin keskeisiä näkökulmia teoksen tekniseen ja taiteelliseen tuottamiseen.

**Pohjola,
Ahmaniemi
Makkonen,
Vartiainen
& Karjalainen**

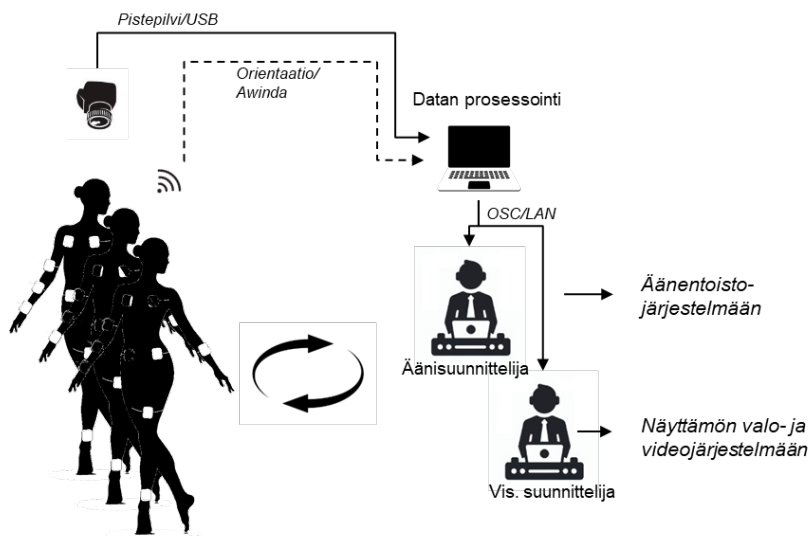
**Sonifikaatio
tanssiteoksen
äänimaiseman
luomisessa**

Liikkeellisen äänimaiseman luominen

Taiteellisen prosessin lähtökohtana *Biodatasonaatti*-tanssiteoksessa oli löytää tapoja valjastaa tanssin ruumiillisuus, visuaalisuus ja äänellistäminen vuorovaikutteiseksi kokonaisuudeksi soveltamalla liikeanturiteknologialla toteutettua sonifikaatiota. Äänisuunnittelun lisäksi anturien signaaleja käytettiin myös visuaaliseen videokuvapohjaiseen suunnitteluun, jossa esimerkiksi anturien kiihtyvyyssignaaleilla voitiin luoda efektejä tanssijoiden liiketilan muutoksiin, kuten esimerkiksi pysähdyksiin.⁹ Tanssiteoksessa käytettiin *OpenSoundControl* (OSC) dataprotokollaa, johon inertia-antureiden datavirta liitettiin. Käytössä olleiden kaupallisten inertia-anturien datan lukemiseen toteutettiin *Python*-ohjelmointikielellä ohjelmisto, joka luki kaikkien käytettävien anturien datavirratt aikasynkronoidusti, visualisoi valitut datat graafeina ja välitti datan mahdollisimman vähäisellä

8 ks. https://minimi.fi/fi_FI/biodatasonaatti-blogi/

9 Valosuunnittelun ja visualisoinnin tueksi, valon ja videon yhteensovittamiseksi, toteutettiin mallinnuksia antureiden signaalien kanssa tutustumalla visuaaliseen *TouchDesigner*-ohjelmointikieleen, joka soveltuu reaaliaikaisen interaktiivisen multimediasisällön toteuttamiseen.



Kaavio 1. Teoksen interaktiivisen äänimaiseman prosessointi on mahdollista esimerkiksi kamerapohjaisesti tai liikeanturein toteutettuna: tanssijoiden liike voidaan mitata joko 3D-liikekaappausteknologialla tai puettavilla inertia-antureilla, kuten Biodata-sonaattissa. Daten prosessointi teoksessa välittyi OSC-rajapinnan kautta sekä ääni- että valosuunnittelijalle ja tätä kautta reaaliaikaisesti myös tanssijoille.

Tanssiteoksessa kullakin kolmella tanssijalla oli käytössään kolme anturia: yksi rintalastaan kiinnitettynä, yksi kyynärvarressa ja yksi sääressä. Rintalastalla sijainneet anturit olivat kiinnitetyt iholle kinesioiteipillä, kun taas kyynärvarressa ja sääressä olleet anturit kiinnitettiin tarranauhalla, rannekellon tapaan. Anturit sijaitsivat vaatteiden alla ja tarranauhojen suojassa, mikä ei haitannut signaalin kantavuutta. Puettujen inertia-anturien data välittyi langattomasti radioaaltoina tietokoneen USB-porttiin kiinnitettyyn vastaanottimeen. Käytetyn vastaanottimen kantavuus on noin 50 metriä avoimessa tilassa, joten kantavuus ei myöskään rajoittanut käyttöä ns. *black box* -näyttämöllä. Kan-

10 Python on laajasti käytetty ohjelmisto, jota on helppo ymmärtää myös vähäisemmällä ohjelmistokehityskokemuksella. Käyttämämme ohjelmakoodi on avoin ja soveltuu myös äänisuunnittelijoiden käyttöön.

nettava tietokone, jossa anturien vastaanotin ja latausasema olivat, sijaitsi näyttämön sivulla. Näin muodostui lähiverkkoyhteys äänisuunnittelijan pöydälle katsomon taakse ja samalla vältettiin pitkien USB-kaapeliin käyttö ja hyödynnettiin nopeaa lähiverkkokaapelia.

Teoksen harjoitteluprosessissa inertia-anturien kiihtyvyyssignaaleista käytettiin sekä komponentteja ja normia että myös useamman anturin yhdistelmiä. Esimerkiksi yhden tanssijan kaikkien kolmen anturin kiihtyvyyden normisummasta saatiin arvo, joka soveltui kuvaamaan tanssijan liikenopeutta. Lisäksi käytettiin magnetometrin signaalia. Magnetometri on digitaalinen kompassi eli sen lukemat riippuvat anturin suunnasta suhteessa ympäröivään tilaan. Magnetometrillä on näin ollen esimerkiksi mahdollista sonifioida tanssijan rintamasuunnan kääntyminen tilassa. Liikeanturilta tuleva asentosignaali ei ole kuitenkaan yksittäinen mitattava signaali, vaan se laskeaan anturin prosessorissa estimointialgoritmeilla jokaisella ajanhetkellä kiihtyvyy-, kulmanopeus- ja magnetometrisignaalien perusteella. Näin ollen asentosignaali koostuu kolmesta kulma-arvosta (engl. *yaw*, *pitch* ja *roll*), jotka ovat kulmia. Anturi on kulmissa kiertynyt suhteessa oletettuun lähtöasentoon kolmessa ulottuvuudessa.

Jos lähtöasentona käytetään vaikkapa anturia pystyssä pöydällä, voidaan hahmottaa tanssijan rintamasuunnan muuttuessa kulma-arvoihin syntyviä epäjatkuvuuskohtia, kun täysi ympyrä on kääntynyt. Tällöin kulma-arvot pysyvät tietyllä vaihteluvälillä, kun tanssijan rintamasuunta on yleisöön päin: rintalastan anturin kulma-arvot ovat siis lähellä sitä, mitä anturin ollessa pöydällä tähän suuntaan. Epäjatkuvuuksien takia asentoa kuvaavat datavirratt kuitenkin soveltuvat sellaisenaan vain liikkeisiin, joissa kehon osien asennot ovat suhteellisen pienellä vaihteluvälillä. Näitä ovat liikkeet ja asennot, jossa kulma-arvo on lähellä epäjatkuvuuspistettä: esimerkiksi niin, että *pitch*-kulma muuttuu -180 asteesta 180 asteeseen. Äänisuunnittelussa täytyykin ohjelmoida erikseen tilanteet, joissa kulman arvo on epäjatkuva. *Biodatasonaatti*-teoksessa asentoa sovellettiin muun muassa rintalasta-anturin osalta niin, että rintakehän kallistuvan liikkeen hidastumista ja pysähtymistä sonifioitiin avautuvan oven narahdusten tapaan yksittäisissä kohtauksissa.

Koska tanssiteoksessa oli kolme tanssijaa ja jokaisella oli käytössään kolme anturia, oli datavirtoja käytettävissä runsaasti. *Biodatasonaatin* taiteellista työskentelyä leimasi prosessinomainen kokeellisuus ja minimalismi, joka sai kuulua selkeästi muo-

**Pohjola,
Ahmaniemi
Makkonen,
Vartiainen
& Karjalainen**

**Sonifikaatio
tanssiteoksen
äänimaiseman
luomisessa**

dostetussa äänimaailmassa, jopa korostuneen raakanakin. Näin ollen oleellinen tehtävä sonifikaatiossa olikin valita kuhunkin teoksen osaan vain tietyt taiteellisesti kiinnostavat datavirrat tai niiden yhteisvaikutus. Lopulliset valinnat eri datavirtojen käytöstä teoksen osissa olivat äänisuunnittelijan ja koreografisen prosessin tulosta, joita tarkastelemme seuraavaksi. Äänenmuodostuksessa rajattiin esimerkiksi pois ns. konkreettiset äänet, kuten tunnistettavat instrumentit tai äänitteet. Lähtökohtana olikin digitaalinen synteesi sen kaikissa muodoissaan. Esimerkiksi FM- ja granulaarinen synteesi tuottavat useimmiten abstraktia materiaalia, joka ei ohjaa fokusta ja mielikuvia pois itse tanssista. Äänisuunnitteluun löydettiin monia kiinnostavia tekniikoita. Äänisuunnittelun teknistä toteutusta varten rakennettiin räätälöityä rajapintaa antureilta saatavan datan ja ääniohjelmiston välille. Tämä Max MSP-koodiin pohjautuva rajapinta mahdollistaa tanssiteoksen ainutlaatuisen äänimaailman luomisen. Rajapinnan avulla voidaan mikä tahansa sensoreista saatava datavirta liittää useaan eri parametriin *Ableton Live* -ohjelmiston sisällä. Lisäksi dataa voidaan skaalata tarpeiden mukaan ja muuntaa MIDI-nuoteiksi. Näiden mekanismien avulla liikkeen tuottamalla datalla voidaan hallita mitä tahansa digitaalista äänenmuodostus- ja muokkaustapaa. Esimerkiksi *Biodatasonaattissa* datan arvoja skaalattiin OSC-rajapintaa käyttäen ja muun muassa kiihtyvyydestä tuotettiin MIDI-nuotteja tapahtumien ja äänien laukaisua varten.

Biodatasonaatin koreografista ajattelua ohjasivat valittujen datavirtojen myötä löydettyjen toiminnallisten avainsanojen lisäksi tanssijoiden kokemukset kehollisista kerrostumista sekä ruumiillisesta (elämäkerta)tiedosta. Harjoitteiden lähtökohtia olivat erityisesti erilaiset keholliset havaintopisteet raajoista selkärankaan sekä niiden monimuotoiset toiminnalliset tasot, kuten esimerkiksi kallistumat, kiertymät, kietoutumiset, vinoumat, paljastavuudet, peittävyys ja orientaatio, joista myös abstraktiin sekä kokeilevaan elektroniseen ääneen nojaava äänisuunnittelu ammensi. Taiteellisesti kiehtovimmiksi tanssijoiden liikkeestä mitattaviksi sekä sonifioitaviksi liikeanturien mittaamiksi datavirroiksi valikoituivat kokonaiskiihtyvyys ja tanssijan liikkeen asentoa kolmessa ulottuvuudessa ilmaisevat kulmat (eli jo aiemmin esille tuodut *roll*, *pitch*, *yaw*). Nämä valikoidut datavirrat antoivat pohjavireen koreografiselle ajattelulle ja kokonaisen näyttämöteoksen harjoitusprosessille. (Ks. lisää teoksen valmistumisen prosessista Tanssiteatteri Minimi 2024.)

Sonifioitu tanssi koreografian muotoamisessa

Tanssijoille anturit välittivät äänen avulla erityisesti tietoa liikkeestä uudella tavalla, interoseptiikkaa eli sisäisiä aistihavaintoja syventäen ja laajentaen, mikä lisäsi kokemuksellisuutta ja ilmaisuvoimaa sekä tanssijan sisäisessä havaintomaailmassa että vuorovaikutussuhteessa toisiin tanssijoihin ja äänisuunnitteluun. Tässä korostuivat tanssijan toimijuus sekä hienovireisyyden ja vuorokuuntelun tärkeys. Tanssija ei ainoastaan keskittynyt liikkeensä sisäiseen aistimiseen, vaan myös ulkoisiin havaintoihin kuten muihin tanssijoihin, tilaan ja valaistukseen ja niiden vuorovaikutussuhteisiin, mutta samalla myös oman toimijuutensa kuulemiseen sen äänellisen vastineen kautta. Tanssijan havaintokenttä oli tällöin perinteistä tanssijantyötä laajempi ja se ohjautui pääasiallisesti liikkeen reaaliaikaisesta äänellisestä vastineesta käsin. Tämä on keskeinen havainto sonifikaation taiteellis-teknologisesta soveltamisesta niin esiintyjäntaiteen, koreografian kuin äänisuunnittelijan kannalta, sillä sonifikaatio teoksen työmenetelmänä ja sen tanssijoiden ruumiillisuuteen sekä esityshetkeen sidottu toteutuma poikkeavat merkittävästi tavanomaisesta näyttämötaiteen toteutuksesta, jossa tanssi ja -äänitaiteet toteutuvat usein toisistaan erillisinä. (Ks. lisää teoksen valmistumisen prosessista Tanssiteatteri Minimi 2024.)

Sonifikaatio vaikutti siis merkittäväällä tavalla sekä tanssijan-työhön että tanssijoiden moniaistisiin havaintoihin ja valintojen tekemiseen. Näin ollen se muutti keskeisellä tavalla koreografista prosessia ja koreografin työn luonnetta, mutta myös muiden taiteellisten ammattilaisten roolia taiteellisessa prosessissa. Sonifikaatio ikään kuin kasvatti taiteellisen työryhmän eri jäsenten kontribuution mahdollisuuksia prosessissa sekä teoksen esityshetkellä. Lisäksi sonifikaatio teoksen työskentelymenetelmänä ehdotti aktiivista kokemuksen ja tiedon jakamista sekä osallisti taiteellisen ryhmän jäseniä yli totuttujen työnkuvien vaikuttaen taiteellisiin ratkaisuihin.

Taiteellisia prosesseja voidaan kuvata esimerkiksi Jo Butterworthin (2009) didaktis-demokraattisen mallin mukaan, joka jakautuu viiteen erilaiseen lähestymistapaan eli prosessimalliin. Alkujaan malli on kehitetty koreografian opetukseen Iso-Britannian korkeakoulusektorilla. Mallin avulla koreografi voi tunnistaa ja jäsentää esimerkiksi suunnittelua ja vastuun jakautumista koreografisessa prosessissa. Mallissa on erityisesti keskeistä koreografille esitetyt erilaiset roolit suhteessa tanssijoihin se-

**Pohjola,
Ahmaniemi
Makkonen,
Vartiainen
& Karjalainen**

**Sonifikaatio
tanssiteoksen
äänimaiseman
luomisessa**

kä käytettyjen koreografisten menetelmien ja vuorovaikutuksen muutokset. (Ibid.) Lisäksi malli tarjoaa didaktisia näkökohtia. Tässä artikkelissa viittaamme ainoastaan koreografin ja tanssijan välisiin suhteisiin.

Mallin lähestymistapojen demokraattisuuden aste kasvaa jatkumona työryhmän jäsenten vaikutusmahdollisuuksien ja vuorovaikutuksen määrän myötä. Ensimmäisessä prosessimallissa koreografi toimii asiantuntijana ja tanssija koreografin instrumenttina (ns. hierarkkinen ja tietoa siirtävä malli), kun viidennessä prosessimallissa pyritään jaettuun omistajuuteen sekä yhteiseen tiedon luomiseen. Tällöin tekijä on tasaveroisesti jaettua.¹¹ Toisessa prosessimallissa koreografi on tekijä ja omistaja, kun tanssija on koreografian tulkitsijan roolissa. Kolmannessa prosessimallissa roolit alkavat liudentua kohti toisiaan: koreografi on ikään kuin ohjaaja ja tanssija koreografin avustaja. (Ibid. 2009.) Tässä kohden koreografi asettaa tanssijoille esimerkiksi liikeimprovisaatiotehtäviä, joissa tanssija voi vapaasti osallistua luomaan omanlaistaan liikettä (Ibid., 187). Neljännessä kokeellisemmassa prosessimallissa koreografi toimii lähinnä fasilitaattorina ja tanssija liikkeen luoja (Ibid.).

Biodatasonaatin työprosessi vaihteli pääasiassa mallien kaksi ja neljä välillä, joissa koreografin rooleina olivat tekijä, ohjaaja ja fasilitoija. Toisinaan sonifikaatiota hyödyntävä prosessi ylsi prosessimalliin viisi. Tasaveroiseen prosessityöskentelyyn on mahdollista yltyä ilman taiteenaloja ja tekijöitä välittömästi yhdistävää sonifikaation menetelmää, mutta sonifikaatio liki väistämättä ohjaa palkitsevaan (taiteelliseen) yhteistyöhön vuorovaikutteisessa prosessissa. Erityisesti koreografin työtä tarkasteltaessa sonifikaatiota soveltava teosprosessi ehdotti työtapoja, joissa sisällön tuottamisen mahdollisuudet avautuivat yli taiteellisen työryhmän työnkuvien. Koreografinen työ oli parhaimmillaan fasilitoivaa ja tilannetta ohjaavaa, jolloin kunkin taiteilijan ja tekijän oli mahdollista vaikuttaa teokseen sisältöineen ja sopimuksineen. Butterworthin (2009, 187) mallia soveltaen ja tiivistäen koreografi muuntui perinteisestä teoksen tekijästä (engl. *author*) yhdessä toimijaksi ja tanssija tulkitsijasta (engl. *interpreter*) yhteisomistajaksi (engl. *co-owner*). Koreografi siis ikään kuin loi teoksen käsikirjoituksen äänisuunnittelijan kanssa ja rakenteisti teoksen dramaturgisen kaaren ja kehykset, joiden sisällä tanssijat toimi-

11 Tämän voi tulkita myös ns. devising-teatterin kaltaiseksi työtavaksi, joka korostaa ryhmäprosessia ja esityksen muotoutumista ryhmässä (ks. esim. Koskenniemi 2007).

juudellaan vaikuttivat koreografian rakentumiseen. Tanssijat se-
kä loivat äänimaailman, että toimivat koreografian muotoajina
ja sen sovittajina teokselle yhdessä sovituissa puitteissa. Asetel-
maltaan tämä muistuttaa osin esimerkiksi yhdysvaltalaisen ko-
reografi Deborah Hayn kehittämää työmetodia ja tanssijan ruu-
miillisen aistimisen vuorovaikutteista merkitystä esityshetkessä
ajan, tilan, itsen ja muiden sekä koreografian kutomassa dynaa-
misessa verkostossa (ks. lisää esim. Monni 2022).

Menetelmänä ja äänimaiseman tuottamiskeinona sonifikaatio
esitti uudenlaisia haasteita tanssijan työlle, sillä välitön ja il-
maisumuodoiltaan lähes rajaton äänellinen vastine omasta sekä
kollegojen tanssista tarjosi useita tasoja havaintojen ja valin-
tojen tekemiselle. Tämä voi johtaa jopa kokemukseen kakofoniasta,
mikä todentui myös teoksen harjoittamisen prosessissa. Tällöin
keskeistä olikin suunnittelu- ja toteutusvaiheessa datan runsaan
määrän rajaaminen sekä koreografian tanssi-kohtausten
dramaturginen kaari, sonifikaation ajallinen eteneminen ja
temaattinen kehittäminen. Tanssintutkija Kai Lehtikainen
(2014, 119) toteaa, että tanssissa tilaulottuvuus on visuaalisen
ja ruumiillisen usein dominoivan esitystä voimakkaasti ja
jättänyt kenties ajalliset ilmentymät vähemmälle huomiolle.
Tanssiminen kuitenkin ontologisesti tapahtuu tilassa ja ajassa
(ks. esim. Cunningham 1952), mikä olennaisesti liittyy tanssin
katoavaisuuteen. Lehtikoista lainaten aika on tanssille

keskeinen ulottuvuus, sillä se vaikuttaa niin liikkeessä kuin
esityksessä alun ja lopun välillä erilaisten tapahtumien –
tanssijoiden ja heidän liiketekojensa sekä erilaisten visuaalisten
ja auditiivisten tekojen alkamisina ja loppumisina, kestoina,
rytmeinä, kiihdytyksinä ja hidastuksina. Ajan ja rytmien
nyansseilla onkin keskeinen rooli tanssin tunnelmien,
vaikutelmien ja merkitysten rakentumisessa. (Lehtikainen 2014, 121–122.)

Biodatasonaatissa tämä Lehtikoisen esille tuoma tanssin ajan
merkityksellisyys jäsenyi hiljaisuuden ja tanssijan liikkeellisen
äänen poieettisena vuorovaikutteisena maisemana kutoen
teoksen sisäisen dramaturgian säiemäiseen hetkellisyyteen.
Liikeanturipohjaisen sonifikaation soveltaminen
tanssiteoksessa korosti entistään juuri tanssitaiteelle
ominaisia ajan ja rytmien ulottuvuuksia. Se lisäsi
kyseisten ulottuvuuksien syvyyttä ja merkityssuhteiden
syntymistä, kun tanssijoiden liiketeot ja annettujen
koreografisten tehtävien kokemuksellinen tulkinta
toimivat konkreettisesti teoksen auditiivisen ja visuaalisen
maailman ohjureina se-

**Pohjola,
Ahmaniemi
Makkonen,
Vartiainen
& Karjalainen**

**Sonifikaatio
tanssiteoksen
äänimaiseman
luomisessa**

kä äänimedian tuottajina ja muokkaajina esityshetkessä – ei siis ainoastaan tanssin ja liiketekojen keskinäisiin merkityssuhteisiin vaikuttamalla. Näin ollen koreografisten tehtävien tulkinta tuotti tanssi- ja äänitaiteen välitöntä limittymistä ja medioiden välistä ristiin vaikuttumista. Ajallisen, kestoisen, rytmisen sekä äänellisen ulottuvuuden erityispiirteet sekä nyanssit nousivat esiin epäkonventionaalisella tavalla tanssin ollessa välittömässä yhteydessä auditiivisen kanssa. Lisäksi tanssiesiintyjän toimijuutta korostava liikkeen äänellistäminen vaikutti oleellisesti teoshahmon kokonaisrakenteeseen niin dramaturgian, koreografian kuin äänenkin osalta: parhaimmillaan teoksen sisäisten sopimusten raameissa improvisatorisesti sekä ennalta-arvaamattomasti, yllättäen ja katoavassa hetkessä uutta luoden.

ARTIKKELIT
2 | 2025

Lopuksi: Suuntaviivoja tulevaan moniaistisuuteen?

Tässä artikkelissa tarkastelimme sonifikaatiota taiteellisenä menetelmänä ja sen käyttöä erityisesti Tanssiteatteri Minimien *Biodatasonaatti*-teoksen taiteellisessa prosessissa. Kokemuksemme mukaan menetelmänä sonifikaatio vahvisti ennen kaikkea taiteellisten suunnittelijoiden, koreografin ja tanssijoiden yhteistyöskentelyä ja edellytti erityisen keskustelemaa sekä avointa taiteellista prosessia työryhmässä. Koreografiset oivallukset ja lopulliset sopimukset, tanssijantaiteen yksilöllinen ja yhteinen teoksen sisäinen tehtäväpohja ja teoksen dramaturgia sekä taiteellisten suunnittelijoiden työ toteutuivat parhaimmillaan tiiviissä vuorovaikutuksessa tuoden uudenlaisen toimijuuden tason niin tanssi- ja äänitaiteeseen kuin teoksen valo- ja videosuunnitteluun. Parhaimmillaan reaaliaikainen äänellinen vastine tanssijoiden työskentelylle, liikkeellinen ilmaisu ja visuaalisuus nivoutuvatkin toisiaan tukeviksi ja täydentäviksi elementeiksi hetkessä elävässä tanssitaiteessa. Kokonaisuudessaan *Biodatasonaatin* teosprosessi toi myös vahvistusta sille, kuinka sonifikaatio voi korostaa tanssia esittävänä taidemuotona syventäen tanssin ruumiillista erityisyyttä ja ilmaisuvoimaa sekä kunkin esityskerran ainutkertaisuutta.

Sonifikaatio ja sitä tukevat koreografiset valinnat teoksessa tukivat tanssijan omistajuutta ja toimijuutta. Teoksessa ei tuotu valmiita liikemateriaaleja tanssijoille tulkittaviksi, vaan koreografia luotiin erilaisten yhdessä tehtyjen liiketehtävien avulla. Tällöin tanssijan työhön syntyi omistajuus. Sonifikaatio mene-

telmänä sen sijaan korosti erityisesti tanssijoiden toimijuutta – aktiivisuutta, valintoja, vaikuttamista, luovuutta ja uudenlaisia oivalluksia – kolmella toisiinsa nivoutuvalla tavalla. Sonifikaatio tarjosi ensinnäkin tanssijoille uudenlaisen kokemuksen liikkeen hahmottamiseen ja ikään kuin tanssilla soittamiseen. Välttömät ja reaaliaikaiset auditiiviset vasteet herkistivät tanssijan aistiin ja kokeilemaan kuinka keho ”soi” mutta samalla tekemään myös tietoisia päätöksiä ja valintoja. Sonifikaation avulla tanssijat kokivat saavansa myös erilaista kineettistä tietoa kuin aiemmin: erityisesti liikkeen laatuun ja voimakkuuteen sekä ajan-, voiman- ja dynamiikan rytmytyksiin liittyen. Etenkin solististen kohtausten koettiin korostavan yksittäisen tanssijan toimijuutta suhteessa syntyvään äänimaisemaan ja lisäävän tanssijan ilmaisuvoimaa. (Ks. lisää Tanssiteatteri Minimi 2024.)

Edellä kuvatun lisääntyneen somaattisen tiedon ja auditiivisesti vahvistetun kehotietoisuuden kautta avautui myös yhteys paitsi muihin tanssijoihin (ks. lisää Giomi 2020) sekä koko teoksen muotoamiseen. Tanssijoille sonifikaatio mahdollisti toisekseen yhdessä tanssittaessa uudenlaisen vuorovaikutteisen yhteyden: muun muassa reagoimaan ja havainnoimaan ilman näköyhteyttä ja herkistymään muiden tanssijoiden äänellisiin liikeimpulsseihin. (ks. lisää Tanssiteatteri Minimi 2024.) Tässä tanssijoiden käyttökokemukset sonifikaatiosta ja sen merkityksestä tanssijan toimijuuteen ovat samankaltaisia kuin aiemmissa tutkimuksissa (Alborno et al. 2016; Frid, Elblaus ja Bresin 2019; Grosshauser et al. 2011; Landry ja Jeon 2020).

Biodatasonaatti-tanssiteos avasi lisäksi kolmannen ja uudenlaisen tavan lähestyä tanssijan toimijuutta, teoksen muotoamisen tasolla. Vaikka koreografia rakentui kohtauksittain ja liikeketehtävien mukaisesti, tanssijoiden niissä eteneminen rytmitti teosta. Tätä edisti myös se, että teoksen kohtaukset vaihtuivat toteutuneessa äänisuunnittelussa erilaisina äänimaisemina, toisiinsa liukuen. Tällöin tanssijoilla oli runsaasti tilaa ja aikaa liikkeen äärelle asettumiselle, erilaisille kokeiluille sekä yhdessä tuotetun improvisatorisen liikkeen konkreettiselle kuuntelulle. Jokainen esitys kuudesta oli siis samalla kertaa ainutkertainen, niin liikkeellisesti kuin äänellisestikin. Tämänkaltaisen tanssijoiden toiminnasta kumpuava teoksen dramaturginen sonifioitu ohjaus on tanssijan työn kannalta innovatiivista sekä vielä harvinaista. Työprosessiltaan uudenlainen menetelmä haastaa pohtimaan konventionaalisia rooleja esittävässä tanssiteatteessa ja teostuotannossa sekä luo uusia mahdollisuuksia yhteistyölle taiteelliselle työryhmälle.

**Pohjola,
Ahmaniemi
Makkonen,
Vartiainen
& Karjalainen**

**Sonifikaatio
tanssiteoksen
äänimaiseman
luomisessa**

Artikkelissa toimme esiin erityisesti inertia-antureiden käyttämistä sonifikaatiossa. Inertia-antureiden ohella sonifikaatiossa voidaan käyttää myös muunlaista teknologiaa. Esimerkiksi radiotaajuuksiin perustuvat anturit ovat kehittyneet viime vuosina nopeasti. Nämä anturit, jotka ovat inertia-anturien tavoin puettavia, eivät vaadi erillisiä kameroita näyttämön reunoille.¹² Mikäli sonifikaatiossa haluttaisiin käyttää paikantamista, sijaintia näyttämöllä, voitaisiin puolestaan käyttää kameroita (ks. Käävio 1). Kuvaamisessa voi käyttää myös useampia, eri kuvakulmista kuvaavia digitaalisia kameroita.¹³ Esimerkiksi merkkipiste pohjaisessa liikeanalyysissä, ns. liikekaappauksessa, henkilön kehon osiin kiinnitetään pieniä heijastavia eli retroreflektiivisiä, heijastinpalloja, ja infrapunasuotimilla varustetuilla kameroilla kuvataan näiden sijaintia. Tällöin järjestelmällä havainnoidaan heijastinpallojen liikeradat, minkä avulla muodostetaan kinemaattinen malli henkilön liikkeestä. Tässä menetelmässä tanssijan kaikkien kehon osien asennot ja paikat ovat käytettävissä sonifikaatioon, mikä tarjoaa äänisuunnitteluun laajat valintamahdollisuudet. Menetelmä kuitenkin edellyttää, että useista eri suunnista kuvaavat kamerat näkevät tanssijat, joiden päälle

12 Puettavien antureiden liikkeen ja paineen ns. sieppaamiseen ja näiden parametrien reaaliaikaiseen sonifikaatioon liittyvää tutkimusta on löydettävissä esimerkiksi tanssipedagogisessa viitekehysessä, jossa sonifikaatio on ollut tukemassa tanssin opettamista ja oppimisen prosessia erityisesti hyppyihin tai askeliin liittyvässä motorikassa. Tällöin anturit ovat olleet sijoitettuina pohjallisiin mittaamaan painetta ja painonjakautumista. Muut täydentävät anturit ovat olleet kiihtyvyyksimittareita sekä goniometrejä polven kulman havaitsemiseksi. (Grosshauser et al. 2011.) Lisäksi sonifikaatiota on sovellettu muun muassa tanssijan tasapainoon liittyen (Dahl, Knowlton ja Zaferiou 2019).

13 Kaksiulotteisen harmaasävy- tai väriesityksen avulla kolmiulotteisesta kohteesta saadaan selville tarkka sijainti. Perinteinen kamera mittaa ainoastaan kohteesta tulevan valon intensiteettiä, eikä kuvasta voi periaatteessa ratkaista kohteen kolmiulotteista muotoa eli kuvan eri kohteiden etäisyyttä kuvaavasta laitteesta, kamerasta. Kun yhdistetään kuva useammasta kamerasta ja kuvista tunnistetaan toisiaan vastaavia pisteitä, on näiden pisteiden paikka kolmiulotteisessa avaruudessa helppo ratkaista. Tätä tekniikkaa kutsutaan nykyisin fotogrammetriaksi. Matemaattiselta perustaltaan se on identtinen jo satoja vuosia vanhan tekniikan, kolmiomittauksen, kanssa. Käyttäen siis kahta tai useampaa kameraa yksittäisten kohteen pisteiden paikka voidaan ratkaista. Fotogrammetristen menetelmien tarkkuus on varsin hyvä, sillä jo kahdella modernilla suuren resoluution digitaalisella kameralla päästään tarkkuudessa millimetrin osiin. Edellä kuvattu fotogrammetrinen mittaus voidaan myös tehdä niin, että yksi kameroista korvataan valolähteellä tai monimutkaisemmalla kohteen pinnalle heijastettavalla kuviolla, kuten ruudukolla. Viime vuosina erityisesti pelisovelluksissa suosituiksi tulleet 3D-kamerat toimivat juuri näin. 3D-kameraan on integroitu pieni projektori, joka heijastaa kohteen pinnalle kuvion, jonka kamera sitten tallentaa. Nämä kamerat toimivat infrapunavalolla, joten kuviota ei voi silmin nähdä.

on puettu heijastinpalloja, mikä voi rajoittaa puvustusta, lavastusta ja näyttämön alaa. Lisäksi kehon osien kiertoliikkeet eivät tule mitatuksi niin selkeästi kuin puettavilla liikeantureilla. Koreografisesti kamerapohjaista liikekaappausteknologiaa on käytetty jo parisenkymmentä vuotta. Esimerkiksi yhtenä nykytanssin kehittäjistä tunnetuksi tullut Merce Cunningham käytti vuoden 1999 *BIPED*-koreografiassaan esiintymislavalla tanssijoina myös virtuaalitanssijoita (ks. lisää esim. Merce Cunningham Trust 2024).¹⁴ Liikekaappausteknologiaa voi myös yhdistää virtuaalitodellisuuteen ja näin edelleen lisätä tanssitaiteen immersiivisyyttä¹⁵ (ks. esim. Calvo 2023). *Biodatasonaatti*-teoksessa inertia-antureiden käyttöön päädyttiin niiden tanssillisen käytettävyyden vuoksi, sillä anturit ja langaton yhteys rajoittivat tanssijoiden liikettä vain vähän.

Ihmiskehon ja sen jäsenten liike ja positio ovat kuitenkin vain yksi kapea osa-alue siitä mitä ihmisestä voidaan mitata ja käyttää sonifikaation materiaalina esittävissä taiteissa. Kasvojen ilmeiden sekä silmänliikkeiden mittaaminen tarkasti on nykyään jo melko yksinkertaista puhumattakaan muista fysiologisista signaaleista: esimerkiksi sydämen sykkeen tai hengitystaajuuden mittaaminen elektrokardiografialla tai optisesti voidaan suorittaa puettavilla antureilla luotettavasti liikkeidenkin aikana. Ruumiinlämpötilaa ja ihon kosteutta voidaan myös mitata jatkuvasti eri kehon osista. Kasvojen ilmeitä lukuun ottamatta nämä ovat tahdosta riippumattomia kehon toimintoja, joita ohjaa autonominen hermosto. Näiden fysiologisten elintoimintojen tuominen osaksi taideteosta, vaikkapa äänenä, voisi tuoda esitykseen aivan uuden ulottuvuuden kuvastaen ja syventäen esiintyjien välisiä fysiologisia eroja ja liikkeen dynaamista vaihtelua. Johanna Nuutisen koreografia *SKIN HUNGER* on esimerkki tämänkaltaisesta innovatiivisesta ja uudenlaisesta äänimaailman tuottamisesta. Tanssiteoksen keskiössä on kosketus, joka tuodaan lähellekatsojaa kuulokkeilla

**Pohjola,
Ahmaniemi
Makkonen,
Vartiainen
& Karjalainen**

**Sonifikaatio
tanssiteoksen
äänimaiseman
luomisessa**

-
- 14 Merce Cunningham (1919–2019) oli yhdysvaltalainen nykytanssin pioneeri, koreografi ja tanssija. Cunningham sovelsi myös teknologiaa kuten televisiota, videota ja tietokonetta taiteellisessa työssään sekä käytti kehon liikeantureiden ja liikkeenkaappaustekniikkaa koreografioissaan. 1990-luvulla Cunningham aloitti tietokoneen käyttämisen koreografisena työkaluna: ohjelmisto *DanceForms* pystyi mallintamaan ja animoimaan ihmismuotoa. (Ks. lisää esim. Laakso 2022; Merce Cunningham Trust 2024) Suomessa ns. virtuaalitanssijoita esitykseen sisällytti esimerkiksi koreografi ja tanssija Jyrki Karttunen teoksessaan *Keiju*, joka sai ensi-iltansa vuonna 2002.
- 15 Tässä kohden on tärkeä huomioda, että immersiivisuus taiteen keinona ei sinänsä edellytä mitään tiettyä teknologiaa (Ks. esim. https://tieteentermipankki.fi/wiki/Estetiikka:immersiivinen_estetiikka).

äänisuunnittelija Tuomas Norvion luoman binauraalinen äänimaiseman avulla (Jojo 2024).

Olemme tässä artikkelissa keskittyneet sonifikaatioon taiteellisenä työmetodina tanssiproduktiossa. Esittävässä tanssissa sonifikaatiota voidaan käyttää kuitenkin myös muutoin: esimerkiksi kognitiivisesti, tunnekokemusten välittämisessä ja estetiikkana (ks. lisää Landry ja Jeon 2020). Lisäksi tanssiesityksen voi saada näkövammaisen yleisön ulottuville sonifikaation avulla ja äänelistää näkövammaisten tanssijoiden liikkeen yleisölle (ks. esim. Katan 2016; Niewiadomski et al. 2019). Sonifikaatiota on käytetty taiteen lisäksi myös muun muassa musiikkiin ja tanssiin pohjautuvissa neurologisissa kuntoutusmenetelmissä, joita voidaan soveltaen käyttää myös taiteellisessa sonifikaatiossa. Esimerkiksi aivohalvauksen subakuutissa vaiheessa suoritettussa pilottitutkimuksessa todettiin musiikillisen sonifikaatiohoidon vähentäneen nivelkipua ja lisänneen halvaantuneen yläraajan liikkeiden sujuvuutta (Scholz et al. 2015). Lisäksi sonifikaatiohoidon on todettu vaikuttavan EEG-EMG-vaiheen (so. elektroenkefalografia eli aivojen sähköistä toimintaa mittaava aivosähkökäyrätutkimus; elektromyografia eli lihasten sähköistä aktiivisuutta mittaava tutkimuslaite) koherenssiin halvaantuneen käsivarren liikkeen aikana (Nikmaram et al. 2019) ja liikkeen ajalliseen suorittamiseen (Peyre et al. 2023). Lisäksi erityisesti viime aikoina interaktiivisen kuulopalautteen käyttö sensomotorisessa oppimisessa, kuten liikkeeseen perustuvassa sonifikaatiossa, on saanut tieteellistä huomiota ja käytännön sovellutuksia useilla muillakin aloilla kuin kuntoutuksessa, kuten urheiluharjoittelussa, neurotieteissä ja tuotesuunnittelussa (Bevilacqua et al. 2016; Giomi 2020; Scholz et al. 2014; Sunela 2022; Zaferiou et al. 2025). Myös näitä käyttötapoja voidaan soveltaa esitystaiteissa ja yhteisötaiteellisissa projekteissa paitsi esiintyjään ja taiteellisen työryhmään, myös katsojaan. Lisäksi sonifikaation voi yhdistää esimerkiksi haptiikkaan, jolloin esitysteos voi olla eri tavoin aistittavassa (ks. esim. Ihme Helsinki 2021).

Sonifikaation kehittyminen sen tieteellisistä ja teknillisistä lähtökohdista kohti monitieteistä ja -taiteista sovellusta on ollut nopeaa viime vuosina, ja suuntaviivoja tulevaan moniaistisuu-teen on jo nähtävillä. Keskeistä niissä on taiteellisen näkökulman ja paradigman avartuminen. Sonifikaatio voikin tuoda taiteeseen spiraalinomaisesti avautuvaa kokemuksellisuutta ja samalla pait- si laajentaa luovuuden ulottuvuuksia taiteellisessa toiminnassa, myös syventää kokijansa – niin katsojan, kuulijan kuin esiintyjänkin – ymmärrystä maailmasta ainutlaatuisen moniaistisesti.

Lähteet

- Ahmaniemi, Teemu. 2010. "Gesture Controlled Virtual Instrument with Dynamic Vibrotactile Feedback". Proceedings. Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME), Sydney, Australia. 485–488. Tark. 14.11.2024.
https://www.nime.org/proceedings/2010/nime2010_485.pdf.
- Alborno Paolo, Andrea Cera, Stefano Piana, Maurizio Mancini, Radoslaw Niewiadomski, Corrado Canepa, Gualtiero Volpe ja Antonio Camurri. 2016. "Interactive Sonification of Movement Qualities: A Case Study on Fluidity". Proceedings. ISON, Bielefeld University, Germany. Tark. 3.5.2025. http://dance.dibris.uni-ge.it/user_files/documents/papers/ISON2016-05-AlbornoCeraPiana-et-al.pdf.
- Barrett, Lisa Feldman, Karen S. Quigley ja Paul Hamilton. 2016. "An Active Inference Theory of Allostasis and Interoception in Depression". *Biological Sciences* 371 (1708). <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0011>.
- Bevilacqua, Frédéric, Eric O. Boyer, Jules Françoise, Olivier Houix, Patrick Susini, Agnès Roby-Brami ja Sylvain Hanneton. 2016. "Sensori-Motor Learning with Movement Sonification: Perspectives from Recent Interdisciplinary Studies". *Frontiers in Neuroscience* 10 (385). <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00385>.
- Bisig, Daniel ja Pablo Palacio. 2016. "Neural Narratives – Dance with Virtual Body Extensions". Moco. Tark. 6.4.2024.
<https://doi.org/10.1145/2948910.2948925>.
- Bosman, Isak de Villiers, Oguz Buruk, Kristine Jørgensen ja Juho Hamari. 2023. "The Effect of Audio on the Experience in Virtual Reality: A Scoping Review". *Behaviour & Information Technology* 43 (1): 165–199. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2022.2158371>.
- Brewer, Rebecca, Richard Cook ja Geoffrey Bird. 2016. "Alexithymia: A General Deficit of Interoception". *Royal Society Open Science* 3 (10): 150664. <https://doi.org/10.1098/rsos.150664>.
- Butterworth, Jo. 2009. "Too many cooks? A framework for dance making and devising". Teoksessa *Contemporary Choreography: A Critical Reader*, toim. Jo Butterworth ja Liesbeth Wildschut, 177–179. Oxon, UK: Routledge.
- Calvo, Charo. 2023. "Charo Calvo and Jeroen Cluckers". Tark. 10.11.2024.
<https://www.ap-arts.be/en/node/4030>.
- Canales, Ryan ja Sophie Jörg. 2020. "Performance Is Not Everything: Audio Feedback Preferred Over Visual Feedback for Grasping Task in Virtual Reality". Proceedings. ACM SIGGRAPH Conference on Motion, Interaction and Games (MIG '20). New York, USA. Article 4: 1–6. <https://doi.org/10.1145/3424636.3426897>.
- Cunningham, Merce. 1952. Space, time and dance. *Transformation* 1 (3): 150–151.
- Dahl, Luke, Christopher Knowlton ja Antonia Zaferiou. 2019. "Developing Real-Time Sonification with Optical Motion Capture to Convey Balance-Related Metrics to Dancers". Proceedings. ACM International Conference. MOCO. <https://doi.org/10.1145/3347122.3359600>.

**Pohjola,
Ahmaniemi
Makkonen,
Vartiainen
& Karjalainen**

**Sonifikaatio
tanssiteoksen
äänimaiseman
luomisessa**

- Frid, Emma, Ludvig Elblaus ja Roberto Bresin. 2019. "Interactive Sonification of a Fluid Dance Movement: An Exploratory Study". *Journal on Multimodal User Interfaces* 13:181–189. <https://doi.org/10.1007/s12193-018-0278-y>.
- Giomi, Andrea. 2020. "Somatic Sonification in Dance Performances. From the Artistic to the Perceptual and Back". Proceedings. MOCO '20. <https://doi.org/10.1145/3401956.3404226>.
- Gresham–Lancaster, Scot. 2012. "Relationships of Sonification to Music and Sound Art". *AI and Society* 27 (2): 207–212.
- Grosshauser Tobias, Bettina Bläsing, Corinna Spieth ja Thomas Hermann. 2011. "Wearable Sensor–Based Real–Time Sonification of Motion and Foot Pressure in Dance Teaching and Training". *Journal of the Audio Engineering Society* 60 (7/8): 580–589.
- Grön, Nette. 2023. "Sonifikaatio muuttaa tanssijan liikkeen ääneksi – Teknologiainnovaatio voi avata uusia sovelluksia taiteeseen, kuntoutukseen ja peleihin". Creative Finland. Julkaistu 8.12.2023. Tark. 10.11.2024. <https://www.creativefinland.fi/post/sonifikaatio-muuttaa-tanssijan-liikkeen-aaneksi-teknologia-innovaa-tio-voi-avata-uusia-sovelluksia-taiteeseen-kuntoutukseen-ja-peleihin>.
- Ihme Helsinki. 2021. "Aistit auki – kuurosokeiden henkilöiden kanssa ääniteosta kokemassa". Tark. 9.11.2024. <https://ihmehelsinki.fi/uutiset/aistit-auki-kuurosokeiden-henkiloiden-kanssa-aaniteosta-kokemassa/>.
- JOJO (Oulun tanssin keskus). 2024. Skin Hunger. Tark. 9.11. 2024. <https://jojo.fi/skin-hunger/>.
- Katan, Simon. 2016. "Using Interactive Machine Learning to Sonify Visually Impaired Dancers' Movement". *Proceedings. The 3rd International Symposium on Movement and Computing, Thessaloniki*. 1–4. Tark. 21.4.2025. <https://doi.org/10.1145/2948910.2948960>.
- Kern, Angelica C. ja Wolfgang Ellermeier. 2020. "Audio in VR: Effects of a Soundscape and Movement–Triggered Step Sounds on Presence". *Frontiers in Robotics and AI*. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00020>.
- Kildal, Johan ja Stephen A. Brewster. 2006. "Providing a Size–Independent Overview of Non–Visual Tables". Proceedings. International Conference on Auditory Display, London, UK. Tark. 14.11.2024. <http://hdl.handle.net/1853/50607>.
- Koruga, Aleksandar ja Koray Tahiroğlu. 2024. "Dance Movement and Sound Cross–Correlation: Synthesis Parameters on the Micro and Meso Musical Time Scales". Proceedings. The 19th International Audio Mostly Conference, Explorations in Sonic Cultures. 445–456. Tark. 21.4.2025. <https://dl.acm.org/doi/proceedings/10.1145/3678299>.
- Koskenniemi, Pieta. 2007. *Osallistava teatteri Devising ja muita merkillisyyksiä*. Vantaa: Opintokeskus kansalaisfoorumi.
- Kumpulainen, Kristiina, Leena Krokfors, Lasse Lipponen, Varpu Tissari, Jaakko Hilppö ja Antti Rajala. 2010. *Oppimisen sillat – kohti osallistavia oppimisympäristöjä*. Helsinki: Yliopistopaino.
- Laakso, Riikka. 2022. "Merce Cunningham – 65 vuotta koreografian uudelleenajattelua ja taiteenalojen yhteiseloja". Teoksessa *Näkökulmia tanssitaiteen historiaan ja nykypäivään*, toim. Kirsi Monni, Riikka Laakso ja Hanna Järvinen. Helsinki, Teatterikorkeakoulu. Taideyliopisto. <https://disco.teak.fi/tanssin-historia/>.

- Landry, Steven ja Myoungsoon Jeon. 2020. "Interactive Sonification Strategies for the Motion and Emotion of Dance Performances". *Journal on Multimodal User Interfaces* 14: 167–186. <https://doi.org/10.1007/s12193-020-00321-3>.
- Lehikoinen, Kai. 2014. *Tanssi sanoiksi: Tanssianalyysin perusteita*. Kinesis 4. Helsinki: Teatterikorkeakoulu, Taideyliopisto. <https://kinesis.teak.fi/kai-lehikoinen-tanssi-sanoiksi-tanssianalyysin-perusteita/>.
- Lyrra, Pessi ja Tiina Parviainen. 2019. "Mitä sydän näkee?: Katsaus interoception merkitykseen ihmisen tiedonkäsittelylle ja hyvinvoinnille". *Psykologia* 54 (5): 323–341.
- Merce Cunningham Trust. 2024. "Merce Cunningham". Tark. 18.5.2024. <https://www.mercecunningham.org/about/merce-cunningham/>.
- Monni, Kirsi. 2022. "Havainnon kehollinen harjoittaminen tanssin lähtökohtana – Deborah Hay". Teoksessa *Näkökulmia tanssitaiteen historiaan ja nykypäivään*, toim. Kirsi Monni, Riikka Laakso ja Hanna Järvinen. Helsinki, Teatterikorkeakoulu. Taideyliopisto. <https://disco.teak.fi/tanssin-historia/>.
- Nesturkh, Natalia. 1996. "The Theremin and Its Inventor in Twentieth-Century Russia". *Leonardo Music Journal* 6: 57–60. <https://www.muse.jhu.edu/article/585356>.
- Niewiadomski, Radosław, Maurizio Mancini, Andrea Cera, Stefano Piana, Corrado Caneta ja Antonio Camurri. 2019. "Does Embodied Training Improve the Recognition of Mid-Level Expressive Movement Qualities Sonification?". *Journal of Multimodal User Interfaces* 13: 191–203. <https://doi.org/10.1007/s12193-018-0284-0>.
- Niinimäki, Matti ja Koray Tahiroğlu. 2012. "Ahne: A Novel Interface for Spatial Interaction". Proceedings. Association for Computing Machinery. Tark. 14.11.2024. <https://doi.org/10.1145/2212776.2212378>.
- Nijmeijer, Eline M., Pieter Heuvelmans, Ruben Bolt, Alli Gokeler, Egbert Otten ja Anne Benjaminse. 2023. "Concurrent Validation of the Xsens IMU System of Lower-Body Kinematics in Jump-Landing and Change-of-Direction Tasks". *Journal of Biomechanics* 154: 111637. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111637>.
- Nikmaram, Nikou, Daniel S. Scholz, Michael Großbach, Simone B. Schmidt, Jakob Spogis, Paolo Belardinelli, Florian Müller-Dahlhaus, Jörg Remy, Ulf Ziemann, Jens D. Rollnik ja Eckart Altenmüller. 2019. "Musical Sonification of Arm Movements in Stroke Rehabilitation Yields Limited Benefits". *Frontiers in Neuroscience* 13. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01378>.
- NIME. 2024. "NIME". Tark. 21.5.2024. <https://www.nime.org/>.
- Pajala-Assefa, Hanna. 2016. "Soiva liike -kehollinen ajattelut vs teknologia". Julkaistu 13.12.2016. Tark. 6.4.2024. <https://artisthannapajala.wordpress.com/2016/12/13/soiva-liike-kehollinen-ajattelu-vs-teknologia/>.
- Pajala-Assefa, Hanna. 2022. "Tanssi ja teknologia – medioitujen kehojen uudet näyttämöt". Teoksessa *Näkökulmia tanssitaiteen historiaan ja nykypäivään*, toim. Kirsi Monni, Riikka Laakso ja Hanna Järvinen. Helsinki, Teatterikorkeakoulu. Taideyliopisto. Tark. 21.5.2024. <https://disco.teak.fi/tanssin-historia/>.

**Pohjola,
Ahmaniemi
Makkonen,
Vartiainen
& Karjalainen**

**Sonifikaatio
tanssiteoksen
äänimaiseman
luomisessa**

- Paulich, Monique, Martin Schepers, Nina Rudigkeit ja Giovanni Belluci. 2018. "Xsens MTw Awinda: Miniature Wireless Inertial-Magnetic Motion Tracker for Highly Accurate 3D Kinematic Applications". <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23576.49929>.
- Paulus, Martin P. ja Murray B. Stein. 2006. "An insular View of Anxiety". *Biological Psychiatry* 60 (4): 383–387. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.03.042>.
- Paulus, Martin P. ja Murray B. Stein. 2010. "Interoception in Anxiety and Depression". *Brain Structure & Function* 214 (5–6): 451–463. <https://doi.org/10.1007/s00429-010-0258-9>.
- Peyre, Iseline, Agnes Roby-Brami, Mael Segalen, Alain Giron, Baptiste Caramiaux, Veronique Marchand-Pauvert, Pascale Pradat-Diehl ja Frédéric Bevilacqua. 2023. "Effect of Sonification Types in Upper-Limb Movement: A Quantitative and Qualitative Study in Hemiparetic and Healthy Participants". *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation* 20 (1): 136. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01248-y>.
- Scholz, Daniel S., Liming Wu, Jonas Pirzer, Johann Schneider, Jens D. Rollnik, Michael Großbach ja Eckart O. Altenmüller. 2014. "Sonification As a Possible Stroke Rehabilitation Strategy". *Frontiers in Neuroscience* 8. <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00332>.
- Scholz, Daniel S., Sönke Rhode S., Michael Großbach, Jens D. Rollnik ja Eckart O. Altenmüller. 2015. "Moving with Music for Stroke Rehabilitation: A Sonification Feasibility Study". *Annals of the New York Academy of Sciences* 1337: 69–76. <https://doi.org/10.1111/nyas.12691>.
- Shusterman, Richard. 2008. *Body Consciousness: A Philosophy of Mindfulness and Somaesthetics*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Shusterman, Richard. 2012. *Thinking Through the Body. Essays in Somaesthetics*. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- Stocos. 2023. "Stocos". Tark. 14.12.2023. <https://www.stocos.com/en/>.
- Sunela, Eeva. 2022. *Real-Time Musical Sonification in Rehabilitation Technology*. Maisterintutkielma. Musiikin, taiteen ja kulttuurin tutkimuksen laitos. Jyväskylän yliopisto.
- Taideyliopisto. 2024. "Sonic Organism". Tark. 21.5.2024. <https://www.uniarts.fi/tapahtumat/sonic-metaverse-participatory-demo/>.
- Tanaka, Atau ja Marco Donnarumma. 2018. "The Body as Musical Instrument". Teoksessa *Oxford Handbook on Music and the Body*, toim. Youn Kim and Sander Gilman, 79–96. Oxford: Oxford University Press. . <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190636234.013.2>.
- Tanssiteatteri Minimi. 2024. "Biodatasonaatti". Tark. 14.11.2024. <https://minimi.fi/ohjelmisto/biodatasonaatti/>.
- Tieteen termipankki. 2024. "Toimijuus". Päivitetty 7. 4 2015. Tark. 14.11.2024. <https://tieteentermipankki.fi/wiki/Kasvatustieteet:toimijuus>.
- Walker, Bruce N. ja Michael A. Nees. 2011. "Theory of Sonification". Teoksessa *The Sonification Handbook 1*, toim. Thomas Hermann, Andy Hunt ja John G. Neuhoff, 9–39. Berlin: Logos Verlag.
- Yle. 2016. "Satavuotiasta theremiä soitetaan käsin koskematta – 50-luvulla käytettiin kauhu- ja scifielokuvissa". Julkaistu 3.12.2016. Tark. 14.11.2024. <https://yle.fi/a/3-9320630>.

- Yle. 2020. ”Theremin on yksi maailman vaikeimmista soittimista – Ja Susanna Viljanmaa aikoo tehdä Suomesta sen suurvallon”. Tark. 14.11.2024. <https://yle.fi/a/3-11314173>.
- Zaferiou, Antonia, Zahava Hirsch, Tristan Bacani ja Luke Dahl. 2025. ”A Review of Concurrent Sonified Biofeedback in Balance and Gait Training.” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 22: 38. <https://doi.org/10.1186/s12984-025-01565-4>.

**Pohjola,
Ahmaniemi
Makkonen,
Vartiainen
& Karjalainen**

**Sonifikaatio
tanssiteoksen
äänimaiseman
luomisessa**