

Aalto Yliopisto  
Teknillinen korkeakoulu  
Informaatio- ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tietotekniikan koulutusohjelma

Okko Welin

**Digitaaliset tehosteet oopperataiteessa –  
tapaus Teknillisen korkeakoulun  
100-vuotisjuhlaoppera**

Diplomityö

Espoo, 19. toukokuuta 2010

Valvoja: Professori Tapio Takala

Ohjaaja: Professori Tapio Takala

Aalto-yliopisto Teknillinen korkeakoulu Informaatio- ja luonnontieteiden tiedekunta Tietotekniikan koulutusohjelma		DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ	
Tekijä: Okko Welin			
Työn nimi: Digitaaliset tehosteet oopperataiteessa - tapaus Teknillisen korkeakoulun 100-vuotisjuhlaopera			
Sivumäärä: 115 + 7	Päiväys: 19.5.2010	Julkaisukieli: suomi	
Professuuri: Vuorovaikutteinen digitaalinen media		Professuurikoodi: T-111	
Työn valvoja: Professori Tapio Takala			
Työn ohjaaja: Professori Tapio Takala			
<p>Näyttämötaiteissa on aina käytetty tehosteita voimistamaan illuusiota esityksmaailmasta ja luomaan elämyksiä. Nykyisin oopperatuotannossa käytetyt esitallennetut digitaaliset tehosteet eivät mukaudu esityksen etenemiseen, joka nojaa musiikin kulkuun ja esiintyjien toimintaan. Tässä tutkimuksessa etsittiin keinoja luoda esitykseen luontevasti sopivia visuaalisia tehosteita.</p> <p>Tosiaikaisella tietokonegrafiikalla voidaan luoda vuorovaikutteisia tehosteita, joiden ajoitus ja kehitys voidaan ohjata esityksen aikana. Tehosteita voi ohjata tehostemies tai automaattinen seurantajärjestelmä, joka seuraa esimerkiksi esiintyjä, rekvisiittaa tai musiikin piirteitä. Tehosteet voidaan esittää osana lavastusta tai omana kokonaisuena virtuaalisena lavastuksena. Nykyaikaisilla kuluttajatasen grafiikkakiihdyttimillä voidaan korjata projisoitava kuva näkymään oikein lähes millä tahansa näyttämön pinnalla.</p> <p>Tutkimuksen kokeellinen osa tehtiin osana Teknillisen korkeakoulun 100-vuotisjuhlaoperaa Ihmiskunnan Rakastajat, johon toteutettiin virtuaalinen lavastus yhdessä taiteellisen ryhmän kanssa sekä virtuaalisen lavastuksen vaatima tekninen ympäristö. Virtuaalilavastuksen sekä tehosteiden onnistumista arvioitiin katsojakyselyllä ja ohjaajan haastattelulla. Myös teknisten ratkaisujen toimivuutta arvioitiin.</p> <p>Oopperan tuotantoprosessin ongelmien vuoksi vain osa tehosteista oli vuorovaikutteisia. Näyttelijöiden kasvoilta tosiaikaisesti tehty liikemallinnus ohjasi kahta avataria. Avatar-tehosteet eivät kuitenkaan tuoneet esitykseen taiteellista lisäarvoa, koska niiden toteutus ei vastannut laadullisia tavoitteita. Kahta muuta vuorovaikutteista tehostetta ohjasi tehostemies graafisen käyttöliittymän kautta. Tehostemies ajoitti ja sääti vettä esittävän tehosteen toimintaa, ja loppukohtauksessa hän valitsi sekä ajoitti kuvasarjoja kohtauksen tunnelmaan. Molempia tehosteita kehitettiin hienoiksi ja taiteellista lisäarvoa tuoviksi. Esitallennetut tehosteet keräsivät jonkin verran kritiikkiä ajoituksen rajoitteiden ja visuaalisen näyttävyyden osalta.</p> <p>Tutkimuksessa ilmeni tehosteiden vuorovaikutteisudella olevan kysyntää sekä potentiaalia oopperatuotannossa, joskin tehostemiehen ohjaus olisi täyttänyt vuorovaikutustarpeen useimmissa produktioon visioituissa tehosteissa.</p>			
Asiasanat: digitaaliset tehosteet, vuorovaikutteinen, esiintymistäide, näyttämötaide, teatteri, ooppera, virtuaalinen scenografia, lavastus, digitaalinen media, avatar, esimerkkipohjainen animointi, liikemallinnus			

Aalto University School of Science and Technology Faculty of Information and Natural Sciences Degree programme of Computer Science and Engineering		ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS	
Author: Okko Welin			
Title: Digital Effects in Opera – Case Study of Opera for 100 <sup>th</sup> Anniversary of Helsinki University of Technology			
Number of pages: 115 + 7	Date: May 19 <sup>th</sup> 2010	Language: Finnish	
Professorship: Interactive digital media		Code: T-111	
Supervisor: Professor Tapio Takala			
Instructor: Professor Tapio Takala			
<p>Effects have long been used in performing arts as a means to intensify the narrative and to create spectacle. Pre-recorded digital effects used in opera today do not adapt to the progression of music neither to the performers' actions. The objective of this master's thesis is to find methods to create effects that are a natural part of a performance.</p> <p>Real-time computer graphics can be used to create interactive effects. These effects can be controlled during the performance by an effects operator or automatic monitoring systems which follow the actors, props or features of the music. The effects can be used to augment the physical set or to form the whole set. Projected effects can be corrected with modern consumer-grade graphics accelerators to appear properly on almost any surface of the stage.</p> <p>The practical part of the thesis was realized as part of an opera for the 100th anniversary of Helsinki University of Technology. The opera implemented interactive virtual scenography in collaboration with the artistic crew made possible by a designed technical environment. The assessment of the artistic significance of the effects was based on polling the audience and interviewing the director. Technical solutions were evaluated by the author.</p> <p>Due to problems in the development process of the opera, only some of the effects were interactive. Real-time motion capture data of actors' facial gestures were used to control two avatar figures. The avatar effects did not bring any value to the opera because their quality was inadequate. Two other effects were controlled by the effects operator through a graphical interface. For a water-like effect the operator controlled the timing and rippling intensity to match the actors' movements. For the final scene, the operator selected and controlled the timing of image sequences to accommodate the changing mood of the scene. These two effects were successful in bringing some artistic value to the opera through interaction. The pre-recorded effects were criticized for dull looks and a lack of precise timing.</p> <p>The study revealed that there is potential and a definite call for interactive effects in the opera art. However, in many cases for visual effects, the operator would have been enough to make the effects conform to the performance.</p>			
Keywords: digital effects, interactive, performing arts, dramatic art, theatre, opera, virtual scenography, digital media, avatar, performance animation, motion capture			

# Lyhenteet ja akronyymit

AAM	Active Appearance Model
CAD	Computer-Aided Design
DLT	Direct Linear Transformation
FACS	Facial Action Coding System
FAP	Facial Animation Parameter
FEM	Finite Element Method
FFD	Free Form Deformation
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISO	International Organization for Standardization
LCD	Liquid Crystal Display
MARC	Multimodal Affective and Reactive Character
MPEG	Moving Pictures Expert Group
OSC	Open Sound Control
PDM	Point Distribution Model
RSAT	Rotated Summed Area Table
SAT	Summed Area Table
SVD	Singular Value Decomposition
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
USB	Universal Serial Bus
VirChor	Virtual Choreographer
XML	Extended Markup Language

# Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b>	<b>7</b>
1.1	Digitaaliset visuaaliset tehosteet . . . . .	7
1.2	Vuorovaikutuksen merkitys . . . . .	8
1.3	Tutkimuksen tavoitteet . . . . .	9
1.4	Tutkimuksen rakenne . . . . .	10
<b>2</b>	<b>Digitaaliset tehosteet näyttämöllä</b>	<b>11</b>
2.1	Käyttötavat ja tavoitteet . . . . .	11
2.2	Lavastus . . . . .	12
2.3	Vuorovaikutus . . . . .	13
2.4	Virtuaaliset hahmot . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Grafiikka</b>	<b>15</b>
3.1	Esitystavat . . . . .	15
3.2	Projisoinnin geometrinen korjaus . . . . .	16
3.3	Muut projisoinnin korjaustavat . . . . .	28
3.4	Kasvoanimointi . . . . .	30
<b>4</b>	<b>Tehosteiden ohjaus ja vuorovaikutuskeinot</b>	<b>36</b>
4.1	Ajoittaminen . . . . .	36
4.2	Ohjaaminen . . . . .	37
4.3	Optiset menetelmät . . . . .	38
4.4	Kasvojen liikemallinnus . . . . .	38
<b>5</b>	<b>Tavoitteet ja suunnitellut tehosteet</b>	<b>44</b>
5.1	Tehosteiden tavoitteet . . . . .	44
5.2	Suunnittelu . . . . .	45

<i>SISÄLTÖ</i>	6
<b>6 Toteutettu järjestelmä</b>	<b>51</b>
6.1 Vaatimukset . . . . .	51
6.2 Arkkitehtuuri . . . . .	52
6.3 Ohjausjärjestelmä . . . . .	56
6.4 Kuvantamisjärjestelmä . . . . .	58
6.5 Projisointi . . . . .	60
6.6 Kasvojen seuranta . . . . .	65
<b>7 Toteutetut visuaaliset tehosteet</b>	<b>73</b>
7.1 Tehosteet kohtauksittain . . . . .	73
7.2 Kuvantamiskomponentit . . . . .	80
<b>8 Arviointi</b>	<b>89</b>
8.1 Ohjaajan haastattelu . . . . .	89
8.2 Katsojakysely . . . . .	92
8.3 Tekninen toimivuus . . . . .	98
8.4 Tehosteiden suunnitteluprosessi . . . . .	102
<b>9 Yhteenveto ja pohdinta</b>	<b>103</b>
<b>Lähdeluettelo</b>	<b>115</b>
<b>Liite A: Kyselylomake - osa 1</b>	<b>116</b>
<b>Liite B: Kyselylomake - osa 2</b>	<b>120</b>

# Luku 1

## Johdanto

Tämän diplomityön tavoitteena oli kokeilla ja arvioida vuorovaikutteisten digitaalisten visuaalisten tehosteiden käyttöä oopperataiteessa. Tutkimuksen tavoitteena oli löytää keinoja toteuttaa esitykseen luontevasti sopivia visuaalisia tehosteita, jotka tekisivät esityksestä vaikuttavamman.

Tutkimus toteutettiin osana Teknillisen korkeakoulun 100-vuotisjuhlaopperaa Ihmiskunnan Rakastajat, joka oli Mediatekniikan laitoksen professori Tapio Takalan ideoima produktio. Tutkimuksessa toteutettiin kyseiseen oopperaan virtuaalinen lavastus yhteistyössä oopperan taiteellisen ryhmän kanssa.

Tutkimus on jatkoa laitoksella aikaisemmin tehtyyn tutkimukseen. Attila (2006) ja Kajastila & Takala (2008) ovat tutkineet erilaisia vuorovaikutusmenetelmiä ja digitaalisten tehosteiden käyttöä oopperataiteessa. Tutkimusta ovat inspiroineet myös erityisesti Widén:in (2004) tutkimus ja Münchenin oopperajuhlilla esitetty The Jew of Malta -oppera (Kuhn 2006).

### 1.1 Digitaaliset visuaaliset tehosteet

Teatteritaiteessa on aina haettu lavastuksella ja teknisillä kikoilla näyttävyyttä ja esitysmailmasta luodun illuusion voimistamista. Teatteritaide onkin ollut ”nopea tunnistamaan ja käyttämään uuden teknologian draamallisen ja esteettisen potentiaalin” (Dixon 2007).

Digitaalitekniikka tuli teatteriin aluksi automaation tukena. Nykyään yleisesti teatterissa käytettävä digitaali- ja automaatiotekniikka mahdollistavat lavasteiden, äänen ja fyysisten tehosteiden tarkan tahdistamisen vähäisellä manuaalisella ohjauksella tehostemiehen toimesta.

Digitaalitekniikan ja tietokonegraafikan kehityksen myötä uusi tekniikka on otet-

tu käyttöön myös näyttämöllä. Digitaaliset visuaaliset tehosteet koostuvat kuvamateriaalista, joka esitetään teatterin näyttämöllä osana lavastusta tai lavastuksen korvaajana digitaalitekniikan avulla. Digitaalisia visuaalisia tehosteita on sovellettu teatteriympäristöön lisääntyvästi 1990-luvulta alkaen (Dixon 2007).

Digitaalinen lavastus tarjoaa mahdollisuuksia, joita perinteisillä lavastustekniikoilla ei voida saada aikaan, tai toteutus olisi liian kallista. Digitaalinen lavastus mahdollistaa nopeampaisen ja monimuotoisen lavastuksen käytön (Reaney 1993). Esitykseen voidaan myös tuoda elementtejä televisio- ja elokuvakerronnassa tutusta totaalisesta kontrollista kerronnan ajan, paikan ja katsojien huomion suhteen, sekä populaarikulttuurista tuttua informaattorikasta visuaalista maailmaa (Dixon 2007, Reaney 2000b).

Tietokonegrafiikalla voidaan luoda mitä mielikuvituksellisimpia tehosteita näytelmää varten. Tyyliä voi olla mitä tahansa abstraktista fotorealistiseen. Esitallennettuna tietokonegrafiikka rajoittaa näyttelijöiden ilmaisua, kuten mikä tahansa esitallennettu media, mikäli heidän tulee tahdistaa esiintymisensä tehosteen ennalta määritettyyn kulkuun. Tietokonegrafiikalla voidaan kuitenkin luoda tosiaikaisesti toteutettuja tehosteita. Tosiaikaiset tehosteet voidaan luoda vuorovaikutteisiksi esityksen kanssa, eli kehittämään ja ajoittamaan esityksen mukana.

Vuorovaikutukseen voidaan käyttää jo ennestään yleistä tehostemiehen ohjausta. Digitaalinen tekniikka kuitenkin mahdollistaa myös esityksen eri elementtien automaattisen seurannan, jolla saadaan informaatiota esityksestä digitaalisessa muodossa. Digitaalisen informaation perusteella tehosteet voidaan luoda saumattomaan vuorovaikutukseen esityksen kanssa.

## 1.2 Vuorovaikutuksen merkitys

Teatterin elävyys (engl. presence) tulee sen aikaan ja paikkaan sidotusta olemuksesta (Denard 2004). Esitys ei ole koskaan aivan samanlainen, vaikka teatteriesitys onkin harjoiteltu etukäteen. Monien teatteriteoreetikkojen mukaan elävyydessä on tärkeää ”katsojien ja näyttelijöiden oleminen samassa tilassa, ja yhteisellisen draamallisen esityksen kokeminen” (Dixon 2007). Teorian mukaan näyttelijöiden ja katsojien välillä on vuorovaikutusta, joka vaikuttaa jokaiseen esitykseen.

Coniglio (2004) painottaa, että katsojilla on oltava käsitys näyttelijän ja tehosteen vuorovaikutuksesta, jotta teatterille tyypillinen katsojien ja näyttelijöiden välinen vuorovaikutus toimisi. Katsojat kokevatkin vaikuttavimmiksi tehosteet, joissa näyttelijän ja tehosteen vuorovaikutus ilmenee katsojille (Attila 2006, Dixon 2007).

Oopperataiteessa näyttämökuvan merkitys on ”korottaa tai vahvistaa musiikin ja



sanoituksen luomaa kerrontaa” (Widén 2004). Tehosteiden dynaamiikassa on siten syytä huomioida näyttelijöiden toimien lisäksi myös musiikin rooli. Attila (2006) tutki tehosteiden kytkemistä musiikilliseen esitykseen, mutta musiikin tarkka seuraaminen osoittautui haasteelliseksi.

Tehosteiden vuorovaikutuksen perustaminen näyttelijän toimiin luo näyttelijälle uudenlaisen haasteen; näyttelijän täytyy perinteisen roolinsa lisäksi keskittyä tehosteen ohjaamiseen. Kuhn (2006) käyttää tästä operaattorin ja näyttelijän yhteisroolista käsitettä ”lisätty läsnäolo” (engl. extended presence). Myös käytetty seurantatekniikka voi tuoda näyttelijälle ylimääräistä henkistä kuormitusta (Kajastila & Takala 2008).

### 1.3 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää keinoja, joilla digitaaliset visuaaliset tehosteet saadaan luontevaksi osaksi oopperaesitystä. Tehoste kuuluu luontevasti oopperaesitykseen, jos tehoste

- kehittyy esityksen tahdissa tai vuorovaikutuksessa näyttelijöiden kanssa ja
- ei häiritse eikä vaikeuta näyttelijän taiteellista ilmaisua ja
- toteuttaa jonkin taiteellisen tavoitteen tai helpottaa tavoitteen saavuttamista.

Tutkimuksen lähtöolettamus on vuorovaikutuksellisuuden merkittävyys käytössä tehosteita oopperassa. Vuorovaikutuksen osalta pyritään tutkimuksessa selvittämään minkälaisiin tehosteisiin soveltuu paremmin tehostemiehen tekemä ohjaus ja minkälaisiin näyttelijän tekemä ohjaus.

Produktion taiteellinen ryhmä määritteli tehosteiden taiteelliset tavoitteet. Tehosteet suunniteltiin teknisen ja taiteellisen ryhmän kanssa yhteistyönä. Yhteistyön tavoitteena oli taata vuoropuhelu taiteellisten tavoitteiden sekä tekniikan mahdollisuuksien ja rajoitteiden kesken. Yhteistyön osalta tutkittiin valitun toimintatavan soveltuvuutta teknisen ja taiteellisen osaamisen vuoropuheluun, ja tällaisen vuoropuhelun merkitystä luontevasti esitykseen kuuluvien tehosteiden kehitystapana.

Tutkimuksessa rajauduttiin vain perinteisen näyttämötaiteen muotoon oopperan puitteissa. Tutkimuksen ulkopuolelle rajautuu siten monia digitaalitekniikan mahdollistamia tekniikoita, kuten yleisön vuorovaikutus, verkottunut esiintyminen ja virtuaalimaailmassa toteutetut esitykset. Samoin kuin Burke:n (2002) artikkelissa, ei tässä tutkimuksessa pyritä etsimään menetelmiä, joilla tietokone saataisiin toimi-

maan itsenäisenä näyttelijänä tai seuraamaan käsikirjoitusta. Käsikirjoituksen seuraaminen jätetään tutkimuksessa tehostemiehen tehtäväksi.

## 1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimus koostuu kirjallisuusosasta (luvut 2–4), kokeellisesta osasta (luvut 5–7) ja toteutuksen arvioinnista sekä tuloksista (luvut 8–9).

Luvussa 2 esitellään lyhyt kirjallisuuskatsaus aikaisemmista vuorovaikutteisia digitaalisia visuaalisia tehosteita koskevista tutkimuksista, ja tehosteita merkittäväällä tavalla käyttäneistä produktioista. Seuraavat kaksi lukua esittelevät pääosin kokeellisessa osuudessa käytettyjä menetelmiä. Luvussa 3 käsitellään kirjallisuuskatsausta keinoista tuottaa ja esittää tosiaikaista grafiikkaa osana lavastusta, ja luvussa 4 tehosteiden ohjaus- ja seurantamenetelmiä.

Luvussa 5 esitellään lähtökohdat ja tavoitteet esitykseen suunnitelluille tehosteille. Tehosteiden suunnittelussa pidettiin koko ajan esillä pohdintaa minkälaista lisäarvoa tehosteet toisivat esitykseen, vuorovaikutuksen merkityksestä ja tehosteen ohjaajasta. Luvussa 6 esitellään toteutettu esitys-, seuranta- ja ohjausjärjestelmä. Luvussa 7 esitellään toteutetut visuaaliset tehosteet, ja niiden tekninen toteutustapa.

Luvussa 8 esitellään tehosteiden tavoitteiden onnistumisen arvioimiseksi tehty kirjallinen katsojakysely, ja ohjaajan haastattelu. Ohjaaja ja kirjoittajat ottavat kantaa myös taiteellis-teknilliseen yhteistyöhön, ja kirjoittaja arvioi teknisen toteutuksen toimivuutta asetettujen tavoitteiden suhteen.

Luvussa 9 esitetään yhteenveto koko tutkimuksesta ja pohditaan kerätyn tiedon merkitystä tutkimuskysymysten kannalta.

## Luku 2

# Digitaaliset tehosteet näyttämöllä

Tässä luvussa esitellään aikaisempaa digitaalisten visuaalisten tehosteiden (myöhemmin tässä luvussa ”tehosteet”) tutkimusta ja käyttöä näyttämötaiteessa. Kaikkia näyttämötaiteessa käytettyjä tehosteita, käyttötapoja tai tehosteiden tavoitteita ei voida mitenkään käsitellä diplomityön rajoissa, joten luvussa pitäydytäänkin vain yleiskatsauksessa ja muutamassa tutkimuksellisesti tai teknisesti mielenkiintoisessa esimerkissä.

Teatterissa ja oopperassa käytetään nykyään suhteellisen yleisesti digitaalisia visuaalisia tehosteita lavastuksen osana. Vuorovaikutteisten tehosteiden osalta käyttö on vähäisempää, joskin aiheesta on tehty tutkimuksia. Tutkimusten ja käyttötapauskuvausten näkökulmana on kuitenkin usein taiteellinen osuus, jolloin valitun tekniikan soveltuvuutta tavoitteen saavutuksessa analysoidaan harvemmin.

### 2.1 Käyttötavat ja tavoitteet

Digitaalitekniikan käyttö alkoi teatterissa ohjaus- ja automaatiojärjestelmien puolelta. CAD-työkaluilla ja kuvankäsittelyllä on suunniteltu ja luotu lavasteita jo pidemmän aikaa (Reaney 2000b). Myös teatterin dokumentoinnissa ja historiallisessa tutkimuksessa voidaan hyödyntää tietokonesimulointia ja -mallinnusta (Denard 2004). Näyttämöllä digitaalitekniikkaa alettiin käyttää enenevässä määrin 1990-luvulta alkaen (Dixon 2007).

Dixon (2007) esittelee kolme erilaista tehosteiden käyttötapaa teatterissa suhteessa perinteiseen lavastukseen. Jaottelu perustuu kolmen eri teatteriryhmän lähestymistapaan käyttää tehosteita produktioissaan. Lähestymistavat ovat: korvata perinteinen lavastus tehosteilla, käyttää selkeästi esitysmaailmasta erottuvia mediaelementtejä esitystä elävöittämään ja kahden edellisen välimaastossa oleva tehosteiden käyttö

rikastuttamaan perinteistä lavastusta.

Saltz (2001) esittelee erilaisia mahdollisia tehosteiden käyttötapoja ja taiteellisia tavoitteita teatteriesityksessä. Näitä ovat esimerkiksi vuorovaikutteinen puvustus, toisen kuvakulman näyttäminen näyttämön tapahtumiin, hahmon sisäisen tunne- maailman visualisointi, katsojien tunteisiin vaikuttaminen, virtuaalinen nukketeatteri tai virtuaalinen hahmo. Hän myös painottaa yleisesti vuorovaikutuksen tehostavan näyttelijän ja median suhdetta.

Edelliset olivat yleisesti teatteriin liittyviä tutkimuksia. Widén (2004) on tutkinut tehosteiden käyttöä oopperassa. Ooppera eroaa muusta teatterista, sillä siinä musiikilla on erityinen osa esityksen eteenpäin ohjaavana voimana. Widén (2004) esittää tehosteiden tavoitteina joko esityksen tapahtumapaikan välittämisen tai muun lisäarvon tuomisen ”rinnakkaiskerronnalla tai näyttämöllä esitettyä kertomusta voimistamalla”. Tutkimuksessa oopperaohjaajat ja lavastajat näkevät lisäarvon mahdollisuuden, mutta pelkäävät esityksen mahdollista muotoutumista tempuesitykseksi.

## 2.2 Lavastus

Digitaalisella lavastuksella tarkoitetaan digitaalitekniikoin toteutettuja tehosteita ja lavastuksia. Oopperaproduktioiden tehosteina käytetäänkin nykyään usein esitallennettua videota. Esitallennettu kuvamateriaali voidaan luoda myös tietokoneella, kuten on tehty Suomessa toteutetussa oopperassa Turing Machine (Crudible Studio 2008).

Tosiaikaisen videokuvan käyttö osana lavastusta on myös varsin yleistä. Suomessa menetelmää on käytetty muun muassa teatteriproduktioissa Kalavale (Milonoff 2008), Kukkaistytty (Heiskanen 2010) ja Tuntematon Sotilas (Smeds 2007) sekä oopperaproduktiossa Don Giovanni (Parkkinen 2009).

Esitallennetun ja tosiaikaisen videon yhdistämisellä voidaan tuoda lavastukseen vuorovaikutteisia elementtejä. Sundén (2005) totesi videotehosteiden käytön toimivaksi oopperassa Fedra. Kaupallisessa tuotannossa ratkaisua on käytetty José Montalvon ohjauksessa Les Paladins (Attila 2006).

Virtuaalinen lavastus on tosiaikaisella tietokonegrafiikalla luotu digitaalinen lavastus. Kansainvälisten yliopiston ieVR-laitoksella on Mark Reaney'n johdolla tehty tutkimusta virtuaalilavastuksen ja digitaalitekniikan käytöstä teatterissa. Tutkimuksen lähtökohtaisena ideana on ollut virtuaalimaailmojen ja teatterin yhtäläisyydet sekä virtuaalitekniikan tuoma hyöty lavastukseen (Reaney 1993, 1995). Virtuaalimaailmoilla ja teatterilla on kuitenkin myös eroavaisuuksia, kuten katsojien passiivisempi ja kommunaalisempi rooli teatterissa (Reaney 1995). Kohdassa 1.1 käsitellyn hyödyn

lisäksi Reaneyn mielestä virtuaalinen lavastus soveltuu ekspressiiviseen lavastukseen, hahmojen sisäisen maailman esittämiseen sekä lavasteiden nopeampaan suunnitteluun ja muokkaamiseen niin harjoitteluissa kuin esityksissä (Reaney 1998, 2000a). Reaney (2000a) arvioi vuorovaikutuksellisen lavastuksen soveltuvan paremmin teatteriin kuin liikkumaton viimeiseen asti hiotun grafiikan.

Kaikissa ieVR:n produktioissa on käytetty projektoreita suuren näyttämökuvan aikaan saamiseksi. Joissain näissä produktioissa on käytetty polarisoivia 3D-laseja. Wings-produktiossa käytettiin myös puoliläpäiseviä puettavia näyttölaseja (engl. Head Mounted Display). ieVR:n produktioissa on käytetty esitallennettua videokuvaa, tosiaikaista videokuvaa ja tosiaikaista tietokonegrafiikkaa kaikkia yhdessä. Lavastusten ohjaus on kuitenkin produktioissa ollut tehostemiesten vastuulla vaikka näyttelijät ovatkin näennäisesti vuorovaikuttaneet tehosteiden kanssa. (Reaney 1996, 1998, 2000a, 2001)

Oopperaproduktiossa Taikahuilu lavasteet heijastettiin taustan lisäksi liikuteltaviin näyttöpintoihin projektoreita manuaalisesti kohdistamalla. Produktion taiteellisenä lähtökohtana oli tuoda tehosteiden luontitapa yleisölle näkyväksi. Liikuteltavat näyttöpinnolle heijastettiin muun muassa lohikäärmeitä, joiden kanssa näyttelijät taistelivat. Taikahuilussa käytettiin myös tehostetta, joka piirsi abstrakteja kuvioita laulajan äänestä. (Reaney ym. 2004)

## 2.3 Vuorovaikutus

Yleisemmin vuorovaikutteisia tehosteita ruvettiin ensin käyttämään tanssiperformansseissa (Dixon 2007). Hawksley & Biggs (2006) esittelevät performanssin, jossa näyttämöllä oleva tanssija tanssii taustalle projisoidun lavastuksen kanssa. Lavastusta ohjaa liikemallinnuksen avulla näyttämön ulkopuolella oleva tanssija, joka näkee näyttämön tapahtumat videon avulla.

Pinhanez & Bobick (2002) esittelevät teatteriproduktion *It/I*, jolla tutkittiin kuinka tietokone voisi seurata automaattisesti käsikirjoitusta ja esittää roolin esityksessä. Tutkimuksessa tietokone seuraa näyttelijän toimia tulkitsemalla eleitä kameran kuvasta. Käsikirjoitus on määritelty intervalli-skriptin avulla.

Mediatekniikan laitoksella aikaisemmin tehdyillä kahdella tutkimuksella pyrittiin selvittämään vuorovaikutteisten tehosteiden soveltuvuutta oopperaan ja tehosteiden ohjaustapoja. Attila (2006) tutki Virtuaaliooppera nimisen produktion yhteydessä, kuinka vuorovaikutteisia tehosteita voitaisiin ohjata muun muassa seuraamalla pianon soiton tuottamaa MIDI-dataa. Musiikkikappaleen edistymisen seuraaminen osoittautui vaikeaksi toteuttaa luotettavasti, mutta MIDI-datalla voitiin silti ohjata

soittoa visualisoivaa tehostetta. Attila (2006) tutki näyttelijöiden ohjaamia tehosteita. Tutkimuksen ohessa tuotettiin ooppera Kalliit oppitunnit, jossa näyttelijät ohjasivat osaa tehosteista Nintendo Wii-pelikonsolin ohjaimella. Tutkimuksessa arvioitiin näyttelijöille aiheutuvan henkistä kuormaa tehosteiden ohjauksesta.

Art+Com toteutti virtuaalisen vuorovaikutteisen lavastuksen ja virtuaalisen puvustuksen oopperaan *Jew of Malta* (Kuhn 2006). Lavastuksena toimi kolme isoa näyttöä, joille heijastettiin leikkauskuva virtuaalisesta arkkitehtuurista. Näyttelijä pystyi tietyssä kohdassa näyttämöä ohjaamaan virtuaalista arkkitehtuuria sijainnilaan ja käden suunnallaan. Virtuaalinen puvustus projisoitiin näyttelijöihin maskaamalla heidät projektorin kuvasta ja seuraamalla kunkin näyttelijän sijaintia kameeroilla luodusta näyttämön tilavuusmallista (Art + Com 2005).

Kaupallisissa tuotannoissa esimerkiksi Robert Lepagen *The Metropolitan Operalle* ohjaamassa oopperassa *La Damnation de Faust* on käytetty vuorovaikutteisia lavaste-elementtejä. Tehosteina oli ääneen reagoiva lintuparvi, tanssijoiden liikkeisiin reagoivat verhoprojisoinnit, lattialle projisoitu aaltoileva vesiheijastus ja näyttelijöiden kävelystä taivuttava ruohikko. (Wakin 2008)

## 2.4 Virtuaaliset hahmot

Virtuaaliset hahmot ovat tosiaikaisella tietokonegraafikalla luotuja hahmoja, joiden kanssa näyttelijät voivat olla vuorovaikutuksessa.

Reaney (1996, 2001, 2004) on kokeillut muutaman vuorosanan ajoittamista ihmis-pää-hahmolla tehostemiehen ohjaamana, virtuaalihahmon metaforista muodonmuutosta näyttelijälle mahdottoman muutoksen visualisointiin ja näyttelijöiden esittämien hahmojen todellisen ulkomuodon visualisointia.

Länsi-Michiganin yliopistolla kokeiltiin tosiaikaista kehon liikemallinnusta ohjaamaan muun muassa isoa virtuaalista kuoroa Abbott (2007). Edellisessä esimerkissä näyttelijä sijaitsi katsojien näkyvässä, mutta silti erillisessä orkesterimontussa. Saltz (2001) esittelee produktion, jossa näyttämöllä ollut näyttelijä ohjasi virtuaalihahmoa ja lavastusta liikemallinnuksen kautta. Hahmoa käytettiin visualisoimaan näyttelijän esittämän hahmon yliluonnollinen olomuoto. Isommissa kaupallisissa toteutuksissa tosiaikaisesti liikemallinnettuja hahmoja on käytetty muun muassa *Shrek*-musikaalissa, jossa näyttelijän kasvojen markkerillisella liikemallinnuksella luotiin taikapeilissä näkyvä hahmo (Cashill 2009).

## Luku 3

# Grafiikka

Tässä luvussa esitellään ensin digitaalisen kuvamateriaalin esittämiseen soveltuvia keinoja. Toiseksi esitellään tarkemmin projisointiin liittyviä geometrian, intensiteetin ja varjojen korjausmenetelmiä. Viimeiseksi esitellään ihmiskasvojen piirtämiseen soveltuvia tietokonegraafikan menetelmiä.

### 3.1 Esitystavat

Digitaalisten visuaalisten tehosteiden esittämiseen on monia erilaisia vaihtoehtoja. Yleisesti käytössä olevat näytöt, kuten LCD- ja plasmanäytöt, ovat kooltaan varsin pieniä. Useammasta näytöstä kootun näyttöseinän ongelmana on mahdollinen isohko näyttämöllä vaadittu tila, saumat näyttöjen välissä ja mahdollinen korkea kustannus.

Puettavia näyttölaseja käytetään yleisesti virtuaalitodellisuuden sovelluksissa. Immersiiviset näyttölasit peittävät katsojan näkymän todelliseen maailmaan (Milgram ym. 1994). Ei-immersiiviset näyttölasit päästävät ympäristöstä tulevan valon näyttöpinnan läpi. Laseilla esitetty kuvamateriaali näkyy siten normaalin näkymän päällä. Näyttölaseja käytettäessä kuvamateriaalin kohdistaminen tiettyyn ympäristön sijaintiin vaatii kuitenkin lasien seurannan ja kuvamateriaalin luomisen kullekin katsojalle erikseen.

#### 3.1.1 Projisointi

Videoprojisointi on yleinen tapa esittää visuaalista materiaalia. Projisoinnin etuna on mahdollisuus luoda laajoja eri muotoisia näyttöjä, joissa voidaan esittää liikkuvaa, kirkasta ja korkearesoluutioista kuvaa (Raskar 2002). Projisointia käytettäessä näyttämölle ei tarvitse tuoda näyttötekniikkaa, vaan projektorit voidaan sijoittaa muualle. Lähes kaikki tutkimuksessa löydetty digitaaliset visuaaliset tehosteet pro-

jisoitiin näyttämölle.

Projisointi voidaan tehdä näyttöpinnalle joko edestä tai takaa. Tällä valinnalla on merkitystä varjojen muodostumisen kannalta, ja se vaikuttaa näyttöpinnan materiaalin valintaan. Projisointipintana voidaan käyttää melkein mitä tahansa pintaa tai esinettä. Rajoitteena on lähinnä näyttöpinnan liiallinen tummuus, heijastuvuus tai läpinäkyvyys.

Projisointipintoina voidaan käyttää esimerkiksi vesiputousta (Dixon 2007) ja sumuverhonäyttöä (FogScreen 2010). Puoliläpäisevistä materiaaleista koostuvilla näyttöpinnoilla voidaan luoda illuusio tehosteen näkymisestä ilmassa tai lavastuksen edessä. Esimerkiksi vuoden 2006 Grammy Awards -gaalassa käytettiin puoliläpäisevällä ohutkalvolla toteutettua nykyaikaistettua Pepperin aave -tehostetta tuomaan piirrosesiintyjät näyttämölle ihmisesiintyjien joukkoon (Johnson 2006). On myös olemassa kaksitilaisia kalvoja, joiden tila voidaan vaihtaa projisointiin soveltuvasta vaa-leasta pinnasta läpinäkyväksi (Scienstry 2010).

Projisoinnin ja automaattisten seurantamenetelmien avulla voidaan toteuttaa liikkuvia projisointipintoja. Esimerkiksi Tatsuo ym. (2000) toteutti kasvomaskeja seuraavan projisointijärjestelmän prototyypin, ja *Woman in White* -musikaalissa virtuaalilavasteet projisoitiin pyörivään lavastukseen (Winship 2005).

### 3.1.2 Kolmiulotteiset menetelmät

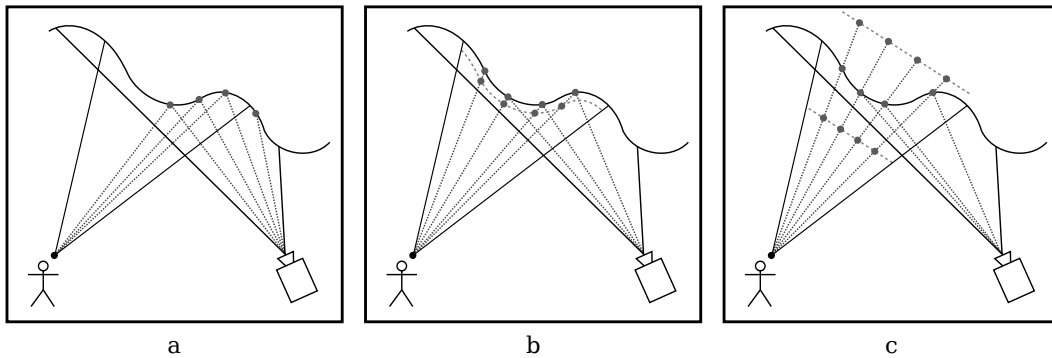
Digitaaliset tehosteet voidaan esittää katsojille myös kolmiulotteisina. Menetelmät perustuvat yleensä stereoparallaksiin eli kummallekin silmälle esitetään hivenen eri kohdasta kuvannettu näkymä (Dodgson 2005). Puettavissa näyttölaseissa on yleensä näyttö kummallekin silmälle kolmiulotteisuutta varten.

Yleisötapahtumiin paremmin soveltuva menetelmä on projisoinnilla toteutettu vaihtoehto. Katsojat pitävät jonkinlaisia laseja, jotka erottavat samalla näyttöpinnalla esitetyt kuvat katsojan silmille. Erotustekijänä voi olla ajallinen, polarisaatiolla tai väreillä erottaminen (Dodgson 2005). Menetelmien ongelmana on kuitenkin, että syvyysvaikutelma on paikkasidonnainen. Varsinkin syvyys suunnassa isoja eroja sisältävissä virtuaalisissa lavastuksissa näyttelijöiden tarkka sijoittautuminen lavasteisiin on vaikeaa.

## 3.2 Projisoinnin geometrinen korjaus

Näyttötason orientaatiolla ja muodolla on iso merkitys aistittavan kuvan muotoon. Tasomaiseen pintaan vinosti projisointi ja epätasomainen näyttöpinta aiheuttavat





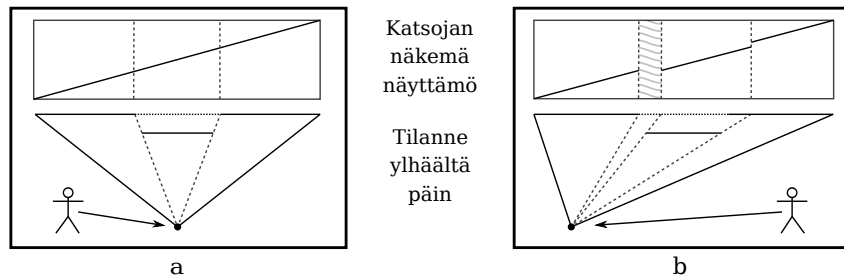
Kuva 3.1: Tasavälisen janan projisoinnin korjaus: a) korjaamaton projisointi; b) jana seuraa pinnan muotoa; c) katsoja näkee tasomaisen kuvan tai näyttöpinnan "läpi".

katsojan aistiman kuvan vääristymisen. Projisoitaessa vinosti tasomaiselle näyttöpinnalle voidaan projektoreissa käyttää yleistä kiilakorjausominaisuutta. Ominaisuus toimii kuitenkin vain yhden pinnan suhteen (Jacquemin & Gagneré 2006). Teatteriympäristössä kuvaa voidaan haluta projisoida muillekin kuin tasomaisille pinnoille tai useammalle näyttöpinnalle samalla projektorilla. Tällöin kuvaa on muokattava ennen projisointia, jotta se osuisi luonnollisella tavalla näyttöpintoihin. Korjauksesta käytetään nimityksiä anamorfoosi (Jacquemin & Gagneré 2006) ja vääristäminen (engl. warping) (Raskar 2002).

### 3.2.1 Kuvallinen tavoite

Kuvassa 3.1 on esitetty korjaamaton projisointi ja kaksi erilaista näyttökuvan tavoitetta näyttöpinoilla. Tavoitteena voi olla korjata projisoitu kuva seuraamaan näyttöpintaa kuin se olisi maalattu siihen. Toinen vaihtoehto on korjata kuva katsojan perspektiiviin. Tuolloin näyttöpinnan muoto pyritään häivyttämään katsojan näkökulmasta. Toteutuksessa projisointi korjataan paitsi projektorin ja näyttöpinnan välisen geometrian suhteen myös katsojan perspektiivistä. Illuusio toimii kuitenkin oikein vain yhdestä tavoitesijainnista katsottaessa. Tavoitesijainnista katsoja näkee kuvan ikään kuin näyttöpinnan muodosta riippumattomana kuvatasona (Jacquemin & Gagneré 2006). Päivittämällä projisoinnin korjausta vastaamaan katsojan kulloistakin sijaintia voidaan näyttöpinnasta luoda näyttöportaali (engl. display portal), jonka "läpi" käyttäjä näkee virtuaaliset esineet" (Raskar 2002). Tavoitesijainti rajoittaa kuitenkin menetelmien käyttökelpoisuutta yleisötilaisuuksissa.

Perspektiivin käyttö kuvamateriaalissa määrittelee aina yhden katsojan tavoitesijainnin, josta etäännyttäessä kuva vääristyy yhä enemmän. Näyttöpinnan etäisyys, muoto ja syvyyserot vaikuttavat merkittävästi siihen, kuinka laajalta alueelta ta-



Kuva 3.2: Näyttämökuvan muodostuminen; a) näkymä tavoitesijainnista; b) näkymä tavoitesijainnin vierestä

voitesijainnin ympäriltä kuva näkyy katsojalle tarpeeksi oikeanlaisena. Teatterissa on käytetty jo kauan perspektiiviin piirrettyjä taustamaalauksia luomaan illuusio näyttämön jatkumisesta esitystilän taakse, ja elokuvateatterissakin esitetään kameran perspektiivistä kuvattua materiaalia laajalle yleisöjoukolle. Niinpä perspektiiviä voidaan käyttää myös projisoidun tietokonegrafikan kanssa.

Näyttöpintana tällaiseen sopii parhaiten tasomainen jatkuva pinta. Tasomaisuus estää tavoitesijainnin ulkopuolella aistitun kuvan sisäiset vääristymät, ja syvyyssuuntainen jatkuvuus estää aistitun kuvan epäjatkuvuuksien esiintymisen. Kuvassa 3.2 on esitetty kuinka näyttöpinnan erot syvyysuunnassa aiheuttavat aistittuun kuvaan vääristymiä ja epäjatkuvuuskohtia parallaksi-ilmiön takia.

### 3.2.2 Kuvapohjainen anamorfoosi

Anamorfoosi voidaan tuottaa käyttämällä kuvapohjaisia kuvannusmetodeja (engl. image-based rendering), joissa siirretään ja painotetaan alkuperäisten kuvien pikseleitä uuden kuvan luomiseksi (Raskar 2002). Kuvapohjaisten menetelmien käytössä on etuna se, että anamorfoosi voidaan toteuttaa täysin riippumattomana korjattavan kuvamateriaalin tuotantotavasta. Haittapuolena ovat mahdolliset kuvan uudelleen näytteistyksen (engl. resampling) tuomat virheet (Raskar 2002).

Anamorfoosin tuottamiseen hyödyllinen kuvapohjaisen kuvannuksen alateknikka on pikselien uusprojektio (engl. reprojection), toiselta nimeltään siirto (engl. transfer). Uusprojektiossa luodaan uusi kuva muutaman kuvan ja geometrinen rajoitteiden avulla (Raskar 2002). Haluttu näyttökuvaa voidaan siis saada aikaan vääristämällä lähdekuvaa ennen projisointia käyttäen hyväksi projektorin ja näyttöpinnan välistä geometrista suhdetta.

Bimber ym. (2005) kuvailee kameran avulla automaattisesti kalibroittavan kuvapohjaisen menetelmän, joka soveltuu monimuotoisille pinnoille. Menetelmä perustuu

kameran käyttöön katsojan sijaisena kalibroituvaiheessa. Kalibroinnissa selvitetään jäsennetyn valon (engl. structured light) menetelmää käyttäen, mitkä projektorin pikselit kuvautuvat projisoinnissa kullekin kameran pikselille. Laskemalla käänteiskuvasaadaan projektorin erottelutarkkuuden mukainen hakutaulukko (engl. lookup table). Hakutaulukko voidaan esittää tekstuurina. Projisoitava kuva voidaan muodostaa tekstuurin ja grafiikkakiihdyttimen fragmenttivarjostimen avulla tosiaikaisesti lähdekuvan pikseleitä valitsemalla. Menetelmä ei tarvitse kameran, projektorin tai näyttöpinnan mallinnusta tai kalibroitua, joten se on helppo käyttää.

Lavastuksellisen projisoinnin kannalta menetelmän ongelma on kuitenkin kontrollin puute. Kameran sijoittaminen määrittelee projisoinnin sijainnin täysin ilman näyttöpinnan merkitystä. Näin ollen on vaikeaa suunnitella tai toteuttaa projisoinnin sijoittelu esimerkiksi useampiin kohtiin lavasteita, ja samalla varmistaa niiden toimivuus isommalle yleisölle. Mallintamalla projisointitilanne voidaan projisointia suunnitella ja kontrolloida paremmin.

### 3.2.3 Projektorin ja kameran kaksinaisuus

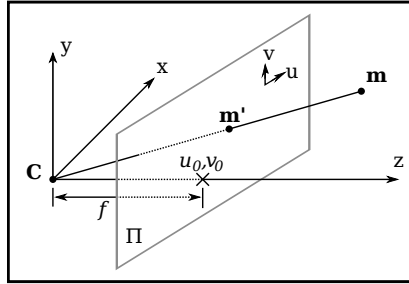
Videoprojektori on kameran vastinpari (Tatsuo ym. 2000). Molemmat suhteuttavat kolmiulotteisen avaruuden sekä kaksiulotteisen kuvan, ja ne voidaan määritellä samoin parametrein (Raskar 2002, s.101). Laitteiden erona on vain muunnoksen suunta.

Sijoittamalla videoprojektori ja kamera samaan paikkaan voidaan niiden kaksinaisuutta käyttää varsin suoraviivaisesti hyväksi. Ennen digitaalisia menetelmiä on kameran kuvamateriaalia projisoitu muokkaamisen jälkeen samaan fyysiseen kohteeseen, mistä lähdekuva on otettu (Raskar 2002). Digitaalisten menetelmien avulla kaksinaisuutta on käytetty muun muassa rajaamaan projisointi näyttelijöiden vaateisiin luomalla projisoinnille tosiaikainen maski kameran kuvasta (Kuhn 2006).

### Kameran analyyttinen malli

Projisoinnin geometrinen suhde näyttöpintaan voidaan laskea projektorin analyyttisen mallin avulla, ja samoin voidaan laskea tarvittavat muutokset kuvaan anamorfoosin aikaansaamiseksi. Kameran ja projektorin kaksinaisuuden takia niitä voidaan mallintaa samoilla analyyttisillä malleilla.

Neulansilmäkameran malli on yleinen analyyttinen malli, joka kuvaa tarpeeksi hyvin kameran kaikkia ominaisuuksia, mutta on myös tarpeeksi yksinkertainen. Mallia käytetään yleisesti kameran mallina kolmiulotteisen tietokonegrafikan kuvannuksessa. Ääreellinen projektiivinen kamera on yleistys neulansilmäkamerasta (Hartley &



Kuva 3.3: Äärellisen projektiivisen kameras malli. Piste  $\mathbf{m}$  kuvautuu kuvatasolle  $\pi$  pisteeseen  $\mathbf{m}'$  keskuspuisten  $\mathbf{C}$  suhteen.

Zisserman 2003). Kuvassa 3.3 on esitetty miten äärellinen projektiivinen kamera kuvaa maailman pisteet kuvatasolle keskusprojektion (engl. central projection).

Äärellisellä projektiivisellä kameralla on sisäiset ja ulkoiset parametrit. Sisäiset parametrit kuvaavat kameras ominaisuuksia, ja ne voidaan esittää matriisimuodossa

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} fk_u & s & u_0 \\ & fk_v & v_0 \\ & & 1 \end{bmatrix}, \quad (3.1)$$

jossa  $f$  on kuvatason etäisyys keskipisteestä,  $k_u$  ja  $k_v$  määrittävät kuvatason akselien kertoimet,  $u_0$  ja  $v_0$  ovat kuvatason koordinaatit pääpisteessä (engl. principal point) sekä  $s$  määrittelee kuvatason akselien välisen vinouden. Myös kameras ulkoiset parametrit voidaan esittää matriisimuodossa. Kameras ulkoisia parametrejä ovat sijainti  $\mathbf{t}$  ja orientaatio  $\mathbf{R}$ , joiden koot ovat  $3 \times 1$  ja  $3 \times 3$ . (Hartley & Zisserman 2003, Zhang 1999)

Kameras projektio voidaan laskea lineaarimuunnoksena homogeenisessa koordinaatistossa (Hartley & Zisserman 2003). Tällöin malli voidaan esittää  $3 \times 4$  projektiomatriisina

$$\mathbf{P} = \mathbf{K}[\mathbf{R}|\mathbf{t}]. \quad (3.2)$$

Kolmiulotteisen koordinaatin  $\mathbf{m} = [X \ Y \ Z \ 1]^T$  projektio koordinaattiin  $\mathbf{m}' = [u \ v \ 1]^T$  lasketaan kaavalla

$$s\mathbf{m}' = \mathbf{P}\mathbf{m}, \quad (3.3)$$

jossa homogeenisten koordinaattien takia on mielivaltainen kerroin  $s$ .

Tietokonegraafikassa projisointimatriisi  $\mathbf{P}$  laajennetaan  $4 \times 4$  matriisiksi, jolloin saadaan laskettua myös projisoitavien pisteiden etäisyys kamerasta näkyvyysongel-

man ratkaisua varten (Raskar 2002). Laajennettu matriisi on muotoa

$$\mathbf{P}_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} fk_u & s & u_0 & 0 \\ 0 & fk_v & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{d_f}{d_f - d_n} & -\frac{d_n * d_f}{d_f - d_n} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix}, \quad (3.4)$$

jossa  $d_f$  ja  $d_n$  ovat lähi- ja kaukotasojen etäisyydet kameran keskipisteestä (Verth ym. 2004, s.227). Muunnoksessa laskettava kuvapisteen syvyysarvo  $\mathbf{m}'_z$  asettuu välille  $[0, 1]$  ja on epälineaarinen homogeenisen syvyysjaon takia.

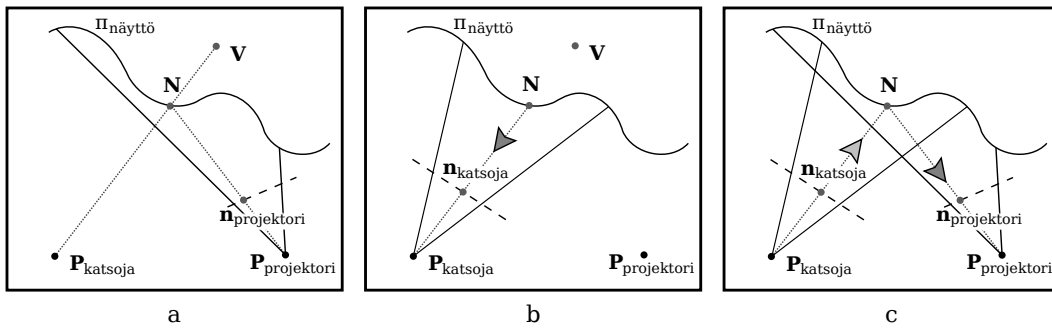
Äärellisen projektiivisen kameran malli ei ota huomioon optiikan mahdollisesti aiheuttamaa radiaalista vääristymää (engl. radial distortion), joka täytyy korjata erikseen muilla keinoin (Raskar ym. 1998, s.6) ja joka voi aiheuttaa muutaman pikselin heiton projisointiin (Bimber ym. 2008). Malli soveltuu kuitenkin hyvin projektorien malliksi, koska niiden optiikassa pyritään yleisesti minimoimaan radiaalinen vääristymä projisoitavan kuvan saamiseksi suorakaiteen muotoiseksi.

### 3.2.4 Tekstuuripohjainen ratkaisukehys

Raskar (2002) esittelee yleisluontoisen kuvannuskehysten (engl. rendering framework) anamorfoosia varten. Kehys mahdollistaa liikkuvan katsojan tapauksessa näyttöpintojen käytön ”ikkunana” virtuaalitodellisuuteen. Kehys käyttää näyttöpinnan mallia. Siten hieman muunneltuna kehys mahdollistaa teksturoinnin määrittelyn näyttöpintoihin eli näyttöpintojen mukaisen projisoinnin.

#### Kehyksen geometriset riippuvuudet

Kehys perustuu kolmen osatekijän välisiin geometrisiin suhteisiin. Osatekijöinä ovat projektorin malli, näyttöpinnan malli ja katsojan sijainti. Kuvassa 3.4a on esitetty kehysten geometrinen perusta. Katsojan tulisi nähdä virtuaalitodellisuuden piste  $\mathbf{V}$  näyttöpinnalla  $\pi_{näyttö}$  pisteessä  $\mathbf{N}$ , joka voidaan laskea leikkauksena näyttöpinnan ja suoran  $\mathbf{PV}$  välillä. Projektorin kuvatasolle pistettä  $\mathbf{N}$  vastaa piste  $\mathbf{n}_{projektor}$  (Raskar 2002).



Kuva 3.4: Projisoinnin kehys (Raskar 2002); a) mallin osatekijöiden geometriset suhteet; b) kuvannus katsojan näkökulmasta; c) täydennetyt näyttöpinnan kuvannus projektorin näkökulmasta

### Kehyksen algoritmi

Kehys määrittelee kaksiportaisen lähestymistavan yllä kerrotun geometrian mukaiseen anamorfoosiin (Raskar 2002). Lähestymistavan ideana on ensin täydentää (engl. augment) näyttöpinta laskemalla virtuaalitodellisuuden pisteitä vastaavat kuvapisteteet näyttöpinnalla ja toiseksi kuvantaa projektorin näkymä täydennetystä näyttöpinnasta.

Lähestymistapa ei pakota käyttämään tiettyä kuvannusmenetelmää tai näyttöpinnan mallia, kunhan malli vastaa suhteellisen tarkasti todellista pintaa (Raskar ym. 1998). Valitsemalla kuitenkin sopivat mallit ja kuvannustekniikka voidaan kuvannus ja anamorfoosi toteuttaa kokonaan grafiikkakiihdytettynä tosiaikaisesti.

Kehyksen yhteydessä Raskar (2002) esittelee lähestymistavan mukaisen kaksiportaisen algoritmin. Kuvapohjainen algoritmi perustuu teksturointiin ja soveltuu laskettavaksi grafiikkakiihdyttimessä. Lähestymistavassa näyttöpinta mallinnetaan kolmioverkolla, katsoja sekä projektori äärellisellä projektiivisellä kameralla, ja näyttöpinnan täydennys toteutetaan projektiivisellä teksturoinnilla.

Algoritmi toimii seuraavasti (Raskar 2002, Raskar ym. 1998):

- Katsojan näkymä virtuaalitodellisuuteen kuvannetaan neulansilmämallilla valitulle kuvatasolle, joka kattaa projektorin valaiseman alueen näyttöpinnasta (ks. kuva 3.4b). Luotu kuva muunnetaan tekstuuriksi.
- Näyttöpinta teksturoidaan edellisessä kohdassa luodulla tekstuurilla projektiivisen teksturoinnin avulla katsojan näkökulmasta. Projektorin näkymä näyttöpinnasta kuvannetaan projektoria vastaavan kamerasilmämallilla (ks. kuva 3.4c). Tämä askel toteuttaa anamorfoosin.

Anamorfoosiaskelen laskennallinen vaativuus riippuu vain näyttöpinnan geomet-

risen mallin mutkikkuudesta ja uudelleennäytteistämisen virheet voidaan minimoida asettamalla ensimmäisen askeleen kuvatason rajat vastaamaan mahdollisimman tarkkaan projisointialaa (Raskar 2002).

### **Muutokset kehykseen**

Kehyksen geometristä mallia ja algoritmia voidaan käyttää myös muunlaisten projisointitavoitteiden kanssa. Katsojan sijainnin merkitys projisointiin voidaan helposti jättää pois. Myöskin luotu välitekstuuri voidaan kiinnittää näyttöpinnan malliin eksplisiittisesti, jolloin kuva saadaan seuraamaan näyttöpinnan muotoja tai aseteltua tarkasti haluttuun sijaintiin. Projisoitu kuvamateriaali voidaan myös koota useammasta kuvannuksesta käyttämällä useampaa välitekstuuria, mikä mahdollistaa kätevästi useamman näyttöpinnan projisoimisen samalla videoprojektorilla.

### **Radiaalisen vääristymän korjaus**

Kehyksessä voidaan ottaa huomioon projektorin radiaalinen vääristymä vääristämällä kuvaa ennen projisointia toisen kerran. Pisteiden mittauksissa voidaan laskea muutos radiaalisen vääristymän suhteen.

### **3.2.5 Kalibrointi**

Anamorfoosin kannalta projisointitilanteen mallinnuksen tarkka yhtäläisyys fyysisen todellisuuden kanssa on erityisen tärkeää. Projektorin säätäminen tarkasti vastaamaan ennalta määriteltäviä parametrejä on vaikeaa. On paljon helpompaa mitata toteutuneen fyysisen asettelun parametrit.

Mallinnukseen tarvitaan näyttöpinnan malli ja projektorin parametrit. Näyttöpinnan malli voidaan luoda mittaamalla, tai usein näyttöpinnasta on olemassa piirrustukset, joiden avulla malli on helppo luoda. Projektorin parametrit voidaan selvittää seuraavaksi esitetyillä tavoilla.

### **Projektorin laskeminen**

Äärellisen projektiivisen kameran tai projektorin parametrit voidaan laskea kuvatason pisteiden  $\mathbf{m}'_i$  ja kolmiulotteisen maailman pisteiden  $\mathbf{m}_i$  vastaavuuksista (Hartley & Zisserman 2003). Kameran kuvasta voidaan selvittää näyttöpinnan pisteiden vastaavuuden manuaalisesti. Videoprojektorin tapauksessa joudutaan vastaavuus kuitenkin etsimään näyttöpintaan projisoidusta kuvasta. Projektorin tapauksessa etsintä voidaan myös automatisoida käyttämällä jäsennettyä valoa ja valosensoreita, ku-

ten Lee ym. (2004) on tehnyt. Kolmiulotteisen maailman koordinaatistona voidaan käyttää näyttöpinnan mallin koordinaatistoa.

Yleinen projektiivinen kamera, jonka erikoistapaus neulansilmäkamera on, voidaan esittää  $3 \times 4$ -matriisina  $\mathbf{P}$ . Matriisissa on 12 arvoa, mutta homogeenisuuden takia vain 11 vapausastetta. Matriisin yksiselitteiseen määrittelyyn tarvitaan siten  $5\frac{1}{2}$  pistevastinetta. Puolikas voi olla joko x- tai y-koordinaatti. (Hartley & Zisserman 2003)

### DLT-algoritmi

DLT-algoritmi (Direct Linear Transformation) on algoritmi, jonka avulla voidaan ratkaista homogeenisten koordinaattien yhtälöryhmiä

$$\mathbf{m}'_i \propto \mathbf{P}\mathbf{m}_i, \quad i = 1 \dots n, \quad (3.5)$$

jossa  $\propto$  tarkoittaa yhtäläisyyttä jonkin kertoimen suhteen (vrt. yhtälöön (3.3)) ja  $n$  on pistevastaavuuksien määrä. Algoritmi perustuu siihen, että yhtälöt voidaan kirjoittaa muotoon

$$\mathbf{m}'_i \times \mathbf{P}\mathbf{m}_i = 0, \quad i = 1 \dots n, \quad (3.6)$$

jolloin päästään eroon kertoimista ja yhtälöryhmälle saadaan yksinkertainen lineaarinen ratkaisu. (Hartley & Zisserman 2003)

Kukin pistevastaavuus antaa kaksi riippumatonta yhtälöä matriisin  $\mathbf{P}$  elementtien suhteen. Yhtälöryhmä voidaan siten esittää muodossa

$$\mathbf{A}_{2n \times 12} \mathbf{p}_{12 \times 1} = 0, \quad \mathbf{p} = (\mathbf{P}_{11}, \mathbf{P}_{12}, \dots, \mathbf{P}_{33}, \mathbf{P}_{34}). \quad (3.7)$$

Koska  $\mathbf{P}$  on homogeeninen matriisi, ei yhtälöryhmällä ole yksiselitteistä ratkaisua. Näin ollen on syytä määritellä ratkaisulle ylimääräinen ehto, joka kiinnittää skaalan. Asettamalla vain jonkin  $\mathbf{p}$ :n alkion arvoksi 1 saataisiin ongelma vastaamaan epähomogeenista ongelmaa. Yleisesti valitun alkion arvo voisi kuitenkin olla ratkaisussa lähellä nollaa, jolloin ratkaisun tarkkuus kärsii. DLT-algoritmissa ongelma on ratkaistu asettamalla ehdoksi  $\|\mathbf{p}\| = 1$ , joka ei rajoita ratkaisua minkään yksittäisen alkion suhteen. (Hartley & Zisserman 2003)

Mikäli käytetään juuri tasan  $5\frac{1}{2}$  pistevastaavuutta voidaan laskea tarkka vastaus. Pisteiden arvoissa on kuitenkin välttämättä virheitä, joten useamman kuin  $5\frac{1}{2}$  vastaavuuden käyttö on suositeltavaa mahdollisten mittausvirheiden minimoimiseksi ja jakamiseksi tasaisesti. Tällöin yhtälöryhmä on ylimäärätty ja on käytännössä mahdotonta löytää yhtälöä (3.7) toteuttavaa ratkaisua, joka ei olisi  $\mathbf{p} = 0$  (Hartley &



Zisserman 2003). Tavoitteena on siis hakea ratkaisu, jolla virhe olisi mahdollisimman pieni.

DLT-algoritmi minimoi algebraalisen etäisyyden, eli virheen  $\epsilon = \|\mathbf{A}\mathbf{p}\|$ , ehdolla  $\|\mathbf{p}\| = 1$ . Ehtojen mukainen ratkaisu löytyy laskemalla pääakselihajotelma (engl. SVD, singular value decomposition) (Hartley & Zisserman 2003). SVD-hajotelma voidaan tehdä kaikille matriiseille ja tarkoittaa matriisin esittämistä muodossa

$$\mathbf{A} = \mathbf{U}\mathbf{D}\mathbf{V}^t, \quad (3.8)$$

jossa  $\mathbf{U}$  ( $m \times n$ ) on ortogonaalinen matriisi,  $\mathbf{D}$  ( $n \times n$ ) on vain positiivisia arvoja sisältävä diagonaalinen matriisi ja  $\mathbf{V}$  ( $n \times n$ ) on ortonormaali matriisi. Hajotelma voidaan tehdä siten, että  $\mathbf{V}$ :n arvot pienenevät diagonaalin suuntaisesti. Tällöin haluttu ratkaisu  $\mathbf{p}$  on matriisin  $\mathbf{V}$  viimeinen sarake. (Hartley & Zisserman 2003, Press ym. 2007)

DLT-menetelmän tekemä minimointi on riippuvainen valitusta koordinaatistosta. Normalisoimalla koordinaatistot ennen DLT-menetelmää ja denormalisoimalla saatu tulos saadaan merkittävästi parempia arvioita vastauksesta. Hartley & Zisserman (2003) määrittelee normalisoinnin pakolliseksi osaksi DLT-menetelmää.

DLT-algoritmin antama algebraalisen etäisyyden minimoiva ratkaisu ei ole aina paras vaihtoehto. Minimoinnissa voidaan käyttää muitakin virhefunktioita. Näissä on kuitenkin turvauduttava iteratiivisiin algoritmeihin. Toisin kuin DLT-algoritmi iteratiiviset algoritmit eivät välttämättä konvergoitu globaaliin minimiin, ja niiden lopetusehdon määrittelemisen voi olla hankalaa. Iteratiiviset menetelmät vaativat yleensä lähtöarvion. Lähtöarvona voidaan käyttää DLT-algoritmin tulosta. (Hartley & Zisserman 2003)

### Näyttöpinnan mallin mittaaminen

Yllä käytetyssä metodissa oletettiin näyttöpinnan mallin olemassaolo. Mallin tekeminen voidaan automatisoida esimerkiksi laserskannauksella. Mallin luomisessa voidaan käyttää hyväksi myös videoprojektorin ja kameroiden yhteispelillä voidaan malli näyttöpinnasta luoda automaattisesti kolmiomittausta käyttäen. Kolmiomittaus perustuu kahden projektiivisen kameran väliseen tiedettyyn geometriseen suhteeseen, joka selvitetään kalibroituvaiheessa. (Raskar ym. 1998, Raskar 2002, Bimber ym. 2008)

Käytettäessä vain kahta kameraa mittausta hankaloittaa pistevastineiden löytäminen. Lisäämällä järjestelmään videoprojektori voidaan pistevastinparit selvittää automaattisesti. Videoprojektorin käytettäessä menetelmästä käytetään nimeä etäisysskannaus (engl. range-scanning). Toinen kamera voidaan jopa korvata projekto-

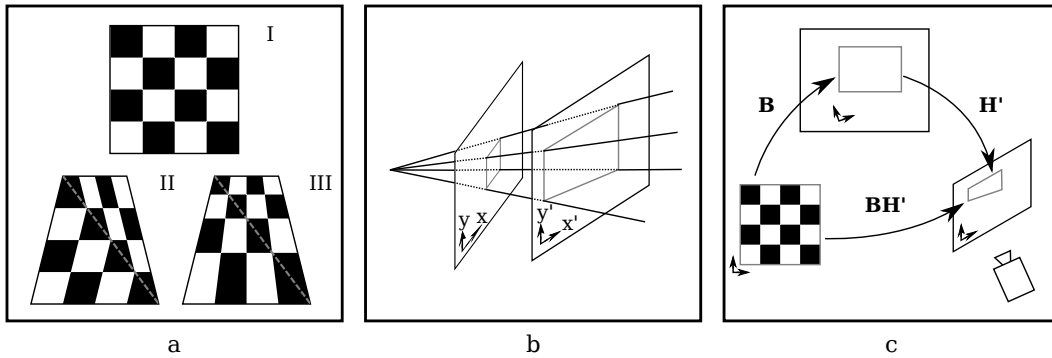
rilla, mutta tällöin kalibrointi pitää toteuttaa kahdelle erityyppiselle laitteelle.

Menetelmät muodostavat näytteistetyyn mallin näyttöpinnasta. Näytteistetyyn mallin tarkkuus on riippuvainen käytetystä kamerasta, joten anamorfoosia varten mallia on muokattava täyttämään videoprojektorin kaikki pisteet (vrt. kohdassa 3.2.2 esitelty anamorfoosimenetelmä). Suoraviivaisimmillaan tämä käy esimerkiksi laskeamalla näytteistysjoukon Delaunay-kolmiointi. Mallia voidaan myös yksinkertaistaa laskennallisen vaativuuden vähentämiseksi.

Mallin avulla voidaan kokeilla erilaisia projisointimahdollisuuksia ja määrittellä haluttuja projisointisijainteja esimerkiksi syvyyden perusteella.

### 3.2.6 Tasomaiset projisointipinnat

Tasomaisten näyttöpintojen suhteen anamorfoosi voidaan toteuttaa ilman kolmiulotteista mallia. Tämä tapahtuu sovittamalla haluttu tekstuuri (kuva) videoprojektorin kuvatason alueeseen, joka vastaa näyttöpinnalle haluttua muotoa. Yleinen grafiikkakiihdytys jakaa monikulmiot kolmioiksi ennen kuvannusta. Kuvassa 3.5a on esitetty kuinka tekstuuri vääristyy vääriällä tavalla kolmiojaon takia. Oikeanlainen vääristymä saadaan asettamalla projisointikuvaukseksi tasojen välisen homografian mukainen projektio.



Kuva 3.5: Teksturointi ilman kolmiulotteista mallia; a) ilman homografiakuvausta tekstuurin (I) korjaus jää vain affiiniteksturoinniksi (II), vaikka tavoitteena on perspektiivisesti oikeanlainen korjaus (III); b) keskusprojektio määrittelee homografian kahden tason välille; c) tekstuurikoordinaattien käyttö näyttöpinnan koordinaatistona.

Homografia on projektiivisen tason kääntyvä kuvaus, joka kuvaa viivat viivoiksi. Tarkemmin homografia voidaan määrittellä ”kääntyväksi kuvaukseksi  $h \mathbb{P}^2$ :sta itseensä siten, että kolme pistettä  $x_1, x_2$  ja  $x_3$  ovat samalla viivalla, jos ja vain jos myös  $h(x_1), h(x_2)$  ja  $h(x_3)$  ovat samalla viivalla” (Hartley & Zisserman 2003). Projektiiv-

viset tasot voidaan kuvata kaksiulotteisella homogeenisella koordinaatistolla, jolloin homografia on homogeenisten koordinaattien lineaarimuunnos

$$\mathbf{x}' = \mathbf{H}\mathbf{x}, \quad (3.9)$$

missä  $\mathbf{H}$  on kääntyvä  $3 \times 3$ -matriisi. Mikä tahansa tällainen kuvaus on homografia, kun  $\mathbf{H}$  on kääntyvä. (Hartley & Zisserman 2003)

Matriisissa  $\mathbf{H}$  on kahdeksan vapausastetta. Matriisi voidaan siten määritellä neljän pistevastinparin avulla, kun niistä mitkään kolme eivät ole samalla suoralla. Matriisi voidaan laskea kohdassa 3.2.5 kuvatulla DLT-algoritmilla. Homografia voidaan laskea minimissään kolmella vastinparilla molempien tasojen koordinaatistojen ollessa ortogonaalisia. (Hartley & Zisserman 2003)

Keskusprojektiio aiheuttaa kahden tason välille homografian (Hartley & Zisserman 2003), mikä on esitetty kuvassa 3.5b. Ääreellinen projektiivinen kamera ja projektori ovat keskusprojektiioita, joten mallin mukainen projisointi toteuttaa jonkin homografian mukaisen kuvauksen kuvatasolta näyttötasolle. Oikeanlainen anamorfoosi saadaan aikaan korjaamalla kuvaa projisoinnin homografian käänteiskuvauksen mukaisesti.

### Anamorfoosi homografian avulla

Seuraavassa esitellään kuvapohjainen anamorfoosi homografian avulla. Kuvapohjaisen anamorfoosin etuna on mahdollisuus anamorfoosiin useamman näyttöpinnan suhteen. Yleistettävyyden kärsimättä esitellään tapaus, jossa halutaan projisoida seinällä olevalle neliölle tekstuuri, kun samalla videoprojektori on vinossa näyttöpintaa kohden. Seinä on esimerkissä näyttöpinta ja neliö sijoitusreferenssin antava alue.

Homografian laskemiseen tarvittavien pistevastaavuuksien pisteinä käytetään näyttöpinnalla olevan neliön kulmapisteitä. Pisteitä vastaavat kuvatason koordinaatit voidaan etsiä kohdassa 3.2.5 esitetyin menetelmin. Näyttötason koordinaatistolle ei ole mitään erityistä kiinnityskohtaa, joten se voidaan valita vapaasti. Neliön kulmia vastaavilla näyttöpinnan ja kuvatason koordinaateilla voidaan laskea homografia  $\mathbf{H}'$  näyttötasolta kuvatasolle.

Tekstuurin asemoimiseksi neliöön lasketaan lineaarikuvaus  $\mathbf{B}$ , joka kiinnittää tekstuurin näyttöpinnan koordinaatistoon.  $\mathbf{B}$  on homografia, joka voidaan määritellä käyttäen tekstuurin ja näyttöpinnan neliön kulmien koordinaatteja. Kahden lasketun homografian avulla voidaan laskea yhdistetty homografia  $\mathbf{H} = \mathbf{B}\mathbf{H}'$ , joka on homografia tekstuurilta kuvapinnalle.  $\mathbf{H}$  voidaan siis laskea suoraan tekstuurin ja

kuvatason vastinpisteistä, mikä on esitetty kuvassa 3.5c.

Grafiikkakiihdytyksessä anamorfoosi voidaan toteuttaa muodostamalla homografia  $\mathbf{H}$  vastaava  $4 \times 4$  projektiomatriisi  $\mathbf{P}$ . Vaikka homografia on kaksiulotteinen koordinaattien muutos, projektiomatriisissa homogeenisyyteen liittyvä jakolasku ulottuu myös syvyysarvojen kuvaukseen. Jotta syvyysarvot eivät muuntuisi lähi- ja kauko-tason ulkopuolelle, jossa ne leikkautuisivat pois kuvasta, pitää z-arvot kertoa korjaavalla termillä. Projektiomatriisista tulee tällöin

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & 0 & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & 0 & h_{23} \\ 0 & 0 & 1 - |h_{31}| - |h_{32}| & 0 \\ h_{31} & h_{32} & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3.10)$$

jossa  $h_{ij}$  ovat  $\mathbf{H}$ :n normalisoituja alkioita ( $h_{33} = 1$ ) ja  $\mathbf{P}_{33}$  z-arvot korjaava termi. (Raskar 2000)

Anamorfoosi voidaan toteuttaa myös suoraan kolmiulotteisen mallin kuvannuksen yhteydessä. Tällöin homografia lasketaan katsontatilavuuden reunapisteiden ja kuvatasosta etsittyjen pisteiden välille. Kuvannuksen projektiomatriisi kerrotaan homografiaa vastaavalla projektiomatriisilla. Kuvannus koostuu näin vain yhdestä askeleesta. Etuna on uudelleennäytteistyksen aiheuttamien vikojen puuttuminen ja menetelmällä saavutettava nopeushyöty kuvapohjaiseen menetelmään nähden. (Raskar 2002, Raskar 2000)

### 3.3 Muut projisoinnin korjaustavat

#### Kirkkaus ja väri

Katsojan aistimaan kuvaan vaikuttavat monet tekijät. Näyttöpinnan pisteeseen  $\mathbf{x}$  osuvan projisoinnin intensiteetti on suhteessa osumiskulman kosiniin ja käänteisesti suhteessa etäisyyteen (Raskar 2002). Pisteestä  $\mathbf{x}$  katsojan suuntaan lähtevän valon intensiteetti riippuu siitä, kuinka valon säteet imeytyvät, heijastuvat ja siroavat näyttöpinnassa (Surati 1999). Valon heijastuminen riippuu tulevan valon suunnasta ja on erilainen eri suuntiin. Näin ollen pisteestä  $\mathbf{x}$  tuleva valo riippuu paitsi projektorin sijainnista myös katsojan sijainnista. Pinnan väri aiheuttaa eri aallonpituuksien heijastumisen eri tavoin.

Näyttöpinnan materiaalin erilaisuus ja kuviointi voidaan häivyttää aistitusta ku-

vasta rekisteröimällä projisoinnin, pinnan ja katsojan suhde tarkasti esimerkiksi kohdassa 3.2.2 esitetyllä menetelmällä (Bimber ym. 2005). Se, kuinka laajalta alueelta katsottuna projisointi näyttää oikealta, riippuu näyttöpinnan ominaisuuksista.

Valon siroaminen näyttöpinnasta voi näkyä virheenä viereisillä näyttöpinnoilla. Bimber ym. (2006) esittelee menetelmän, jossa epäsuoran siroamisen (engl. indirect scattering) vaikutus kompensoidaan projisoinnissa. Menetelmä perustuu grafiikka-kiihdyttimessä tehtävään tosiaikaiseen käänteiseen radiositeetilaskentaan.

### **Laajat näytöt**

Suuren resoluution tai laajojen kirkkaiden näyttöjen luomiseksi voidaan useampi projektori yhdistää. Yhtenäisen kuvan muodostaminen projektoreita fyysisesti kalibroimalla on vaikeaa. Anamorfoosilla voidaan kuitenkin automaattisesti luoda isoja näyttöjä useamman limittyvän projektorin avulla.

Kokonaiskuvan muodostumisen kannalta olennaista on saada aikaan tarkka projektorien rekisteröinti suhteessa toisiinsa. Usein menetelmät käyttävät kameraa ja jäsenettyä valoa selvittämään vierekkäisten projektorien kalibroinnin. Kameralla voidaan myös sovittaa projektorien intensiteetti- ja värieroja. Näiden kalibroitiaskelten jälkeen jäljelle jäävät pienet virheet voidaan häivyttää tekemällä portaaton intensiteetin vaihto projisoinnin limittyvillä alueilla. (Raskar 2002, Bimber ym. 2008)

### **Varjot**

Projisointikiilaan osuvat esteet eli esineet tai henkilöt aiheuttavat varjoja projisointiin. Varjot voidaan jakaa staattisiin ja dynaamisiin (Raskar 2002). Staattiset varjot voidaan häivyttää lisäämällä useampia projektoreita. Dynaamisten varjojen syvyyttä voidaan vähentää asettamalla useampi projektori valaisemaan saman näyttöpinnan eri kulumista, jolloin yhden syvän varjon tilalla on useampia puolivarjoja. Dynaamiset varjot voidaan häivyttää käyttämällä useampaa projektorista osateholla saman kuvan luomiseen, ja voimistamalla dynaamisesti varjoalueeseen osuvan projisoinnin kirkkautta.

Varjoalueen löytämiseen on kaksi tapaa: esteen seuranta ja projisoinnin kamera-tarkkailu. Audet & Cooperstock (2007) esittelee menetelmän, jossa esteen sijainti arvioidaan kamerasuorasta, jonka jälkeen puolivarjojen laskettuun sijaintiin projisoidaan vain toisella projektorilla. Sukthankar ym. (2001) esittelevät kameratarkkailuun perustuvan menetelmän. Menetelmässä kamerasuorasta näkymää näyttöpinnasta verrataan lähdekuvaan, ja näiden eroista voidaan päätellä varjojen sijainti ja tarvittava projisointikuvan kirkastaminen. Cham ym. (2003) esittelevät parannetun

version kameratarkkailuun perustuvasta menetelmästä. Menetelmä häivyttää varjojen lisäksi esteeseen osuvan projisoinnin. Esteeseen sekä varjoon projisoiva projektori selvitetään iteratiivisesti pienillä projektorien projisoimien kuvien muutoksilla.

### 3.4 Kasvoanimointi

Osiassa esitellään kasvoanimointiin liittyvää problematiikkaa ja esitellään kasvoanimoinnin menetelmiä. Menetelmien esittelyssä keskitytään tosiaikaisen animoinnin mahdollistaviin menetelmiin tutkimuksen käytännön osan vaatimusten mukaisesti. Viimeiseksi esitellään kokeellisessa osuudessa käytetty kasvomalli.

#### 3.4.1 Tausta

Kasvoanimointi on laajalti tutkittu ala, jolle on monia käyttökohteita. Kasvoanimointia on kehitetty ja käytetty muun muassa piirroselokuvissa, tehosteina realistisissa elokuvissa, tietokonepeleissä, videoneuvotteluissa vähentämään tarvittavaa tiedonsiirtokapasiteettia ja käyttöliittymien sosiaalisissa agenteissa (Parke & Waters 1996, Zhang ym. 2004a). Realististen ihmiskasvojen animointi on haasteellinen tehtävä kasvojen monimutkaisuuden ja ihmisten tarkan havainnoinnin vuoksi.

Ihmiskasvot ovat anatomisesti monimutkainen, joustava kokonaisuus. Kasvot koostuvat monista toisiinsa vaikuttavista osista, joilla kaikilla on merkitystä kokonaisuuteen muodostamisessa (Parent 2002). Kaikki osat eivät ole kuitenkaan yhtä merkityksellisiä ilmeiden välittäjinä. Esimerkiksi silmillä ja suun asennolla on suurin ilmaisuvoima ja merkitys kokonaisilmeeseen. Puheen animoinnissa myös kielellä on iso merkitys (Parke & Waters 1996).

Henkilön kasvot ovat ”tärkein kommunikoinnin ja persoonan välittäjä” (Parent 2002). Ihmiset ovatkin hyvin tarkkoja kasvopiirteiden ja -ilmeiden tulkinnassa, joten pienet erot kasvojen ilmeissä huomataan ja erot ovat merkityksellisiä (Zhang ym. 2004a). Kasvojen tulkinnassa merkitsee myös ajallinen ulottuvuus, sillä dynaamiset ilmeet tunnistetaan paremmin kuin staattiset (Mäkäräinen 2006, s.7). Erityisesti uskottavan puheen animoinnissa tulee ottaa huomioon huulten, leuan ja kielen asento.

#### 3.4.2 Kasvojen mallintaminen

Kasvoanimointia voidaan tarkastella kahdelta kannalta: kasvojen mallintamisena ja kasvojen animointina eli mallin muokkaamisena ajallisesti esittämään ilmeitä ja eleitä (Parke & Waters 1996). Osat ovat kuitenkin vahvasti riippuvaisia toisistaan, jolloin

animoinnin toteutus usein määrittelee käytetyn mallin esitysmuodon.

Kasvojen mallintamisen tavoitteena on luoda anatomisesti tarpeeksi uskottavan näköinen ja muotoinen malli. Mallin tulisi myös esittää tiettyä henkilöä, mitä kutsutaan konformaatioksi (engl. conformation) tai staattisuudeksi (engl. static) (Parent 2002). Tietyn henkilön mallin muoto voidaan saada digitalisoimalla olemassa olevista fyysisistä kasvoista esimerkiksi kolmiomittaamalla tai lasermittaamalla (Parke & Waters 1996).

Uusi malli voidaan luoda määrittelemällä se manuaalisesti CAD-ohjelmilla, tai käyttämällä hyväksi jo olemassa olevia malleja. Olemassa olevista malleista voidaan luoda uusia malleja muokkaamalla vanhaa mallia joko suoraan tai paikallisilla avaruusdeformaatioilla (FFD), tai interpoloimalla eri mallien välillä. Malliin voidaan myös määritellä konformaattiset parametrit, joilla mallista voidaan muokata toisenlainen suhteellisen rajatuilla parametreilla.

Malli voidaan muokata tietyn henkilön näköiseksi sovittamalla vanha malli esimerkiksi valokuviin tai videokuvaan (Parke & Waters 1996). Uudemmissa menetelmissä geneerinen malli voidaan sovittaa valokuvapariin (Ansari & Abdel-Mottaleb 2005) automaattisesti tai hallitusti kuvattuun videokuvaan (Zhang ym. 2004b) lähes automaattisesti.

Kasvojen pinnan, eli kasvomaskin, muodon määrittelyssä käytetään usein polygoniverkkoja. Polygoniverkko on laskennallisesti kevyt ja ”suhteellisen helposti muokattavissa” (Parent 2002). Polygoniverkon verteksit tarjoavat selkeät kontrollipisteet, joita voidaan muokata paikallisesti vaikuttamatta koko malliin. Verkon pisteiden määrällä ja sijainnilla on iso vaikutus mallin tarkkuuteen ja animoinnin helppouteen. Suhteellisen harvaa polygoniverkkoa pehmeämpää pintaa tarvittaessa voidaan kontrollointiin käytetystä monikulmioverkosta muodostaa pehmeämpi osajakomenetelmillä (engl. subdivision-methods), tai käyttää parametrisia pintoja, jotka tosin usein approksimoidaan kuvannuksessa monikulmioilla. (Parke & Waters 1996)

### 3.4.3 Kasvomallin ohjaaminen

Kasvojen animoinnissa pyritään muokkaamaan kasvomallia luomaan erilaisia ilmeitä. Kasvomallin ilmehtimistä toteutukseen on erilaisia menetelmiä. Niiden tarkka jaottelu on vaikeaa selkeiden rajojen puuttumisen ja menetelmiä yhdistelevien lähestymistapojen takia (Deng & Noh 2007). Alla olevan esittelyn jaottelu perustuu Deng & Noh:in (2007) ja Parke & Waters:in (1996) esittelemiін jaotteluihin.

Kaikkien menetelmien ohjaus voidaan nähdä parametrিসointina, joissa ilmeet saadaan eri parametrien arvojen kombinaatioilla. Parametrিসointia voidaan arvioida sen

laajuuden (engl. scope) ja laadun (engl. quality) suhteen. Laajuus on parametreilla saavutettavien ilmeiden joukko, ja parametrisoinnin laatu voidaan arvioida parametrien vähäisyydellä sekä sopivuudella. (Parke & Waters 1996)

### **Interpolointi**

Interpoloimalla mallin verteksien tai ohjauspisteiden sijainteja voidaan erilaisten avainilmeiden välisiä ilmeitä luoda laskennallisesti kevyesti. Menetelmä vaatii kuitenkin paljon avainilmeitä hyvän laajuuden saavuttamiseksi. Laajuutta voidaan lisätä myös interpoloimalla useamman kasvoniilmeen suhteen, mutta vaadittujen parametrien määrä lisääntyy nopeasti käytettyjen ilmeiden kanssa. (Parke & Waters 1996)

### **Suoraan parametrisointi**

Suoraan parametrisoiduissa malleissa parametrisoidaan yksinkertaiset, erilliset liikkeet. Parametrien aiheuttamat muutokset ovat paikallisia, jolloin lopullinen ilme voidaan muodostaa parametrien arvojen kombinaatioilla (Parke & Waters 1996). Ilmeparametrien lisäksi jotkin mallit määrittelevät kasvomallin muotoa muokkaavia konformaatioparametrejä, kuten Candide (Ahlberg 2001).

Parametrisointi toimii vain käyttöliittymänä mallin animointiin. Mallin toteutuksen kontolla on tehdä vastaavat muutokset. Yleisesti käytetty menetelmä on luoda polygoniverkko kasvomaskiksi ja muokata paikallisesti sen verteksejä parametrin mukaisesti. Käytettyjä muokkausoperaatioita ovat kääntö, skaalaus, proseduraaliset määrittelyt, interpolointi ja sijaintisiirrot (engl. offset). (Parke & Waters 1996)

Mallin ongelmana ovat parametrien konfliktit, jotka voivat tehdä ilmeistä epäinhiillisiä. Konfliktitilanne syntyy, kun kaksi erillistä parametria muuttaa yhteisiä verteksejä. Parametrit voidaan suunnitella vaikutusalueiltaan erillisiksi, mutta tällöin malliin jää helposti liikkeiden välisiä rajoja. (Deng & Noh 2007)

### **Fysikaalinen simulointi**

Fysikaaliseen simulointiin perustuvissa menetelmissä mallinnetaan kasvojen oikeita lihaksia ja usein myös kasvojen kudoksia sekä luustoa. Parametrisointina on yksittäisten lihasten tai lihasjoukkojen painotetut supistusvoimat. Menetelmiä kutsutaankin usein lihaspohjaisiksi. (Parke & Waters 1996, Deng & Noh 2007)

FEM-menetelmät ovat laskennallisesti vaativia (Zhang ym. 2004a), ja massa-jousivaimennin perusteiset menetelmät vaativat useita simulointiaskelia muutosten leviämiseen. Menetelmät eivät näin ole optimaalisia käyttökohteisiin, joissa tarvitaan välitöntä kohdeilmeen tuottamista. Vaihtoehtona on käyttää laskennallisesti kevyempiä



pseudo-lihaspohjaisia menetelmiä, joiden parametrisointi on yksinkertaistettu lihaksisto.

### **Esimerkkipohjaiset menetelmät**

Esimerkkipohjaisissa animointimenetelmissä (engl. performance animation) animointiparametrit luodaan oikean ihmisen liikkeiden mittauksen perusteella (Parke & Waters 1996). Kasvoanimoinnissa mittaukset toteutetaan yleensä kameran kuvasta automaattisesti, mutta myös kasvoihin kiinnitettäviä sensoreita voidaan käyttää. Puheanimointia varten on kehitetty menetelmiä, joissa suun ja jopa kielen liike voidaan toteuttaa pelkän ääninäytteen tai tekstin perusteella (Deng & Noh 2007). Kasvojen seurantamenetelmistä enemmän kohdassa 4.4.

Kasvomallina voidaan käyttää mitä tahansa mallia (Parke & Waters 1996). Mallin valinnassa merkittävin valintaperuste on tosiaikaisuuskriteeri, joka on merkittävin esimerkkipohjaisia menetelmiä erottava tekijä. Tosiaikaisuus mahdollistaa virtuaaliset näyttelijät eli tietokoneella luodut hahmot, joita näyttelijä itse ohjaa tosiaikaisesti (Parke & Waters 1996).

Mittauskohteet ovat harvoin yhteneviä mallin animointiparametrien kanssa, joten mittauks tulokset tulee muuntaa sopiviksi parametrisoiksi (Deng & Noh 2007). Muunnos voidaan määrittellä manuaalisesti tai menetelmän valmistelujaksossa automaattisesti. Esimerkiksi Essa ym. (1996) esittelee tosiaikaisen menetelmän, jossa parametrisoinnin vastine videokuvan ilmeisiin etsitään simuloivan kasvomallin avulla erillisessä valmisteluvaiheessa. Puheanimoinnissa yleisin parametrisointi perustuu viseemeihin, jotka ovat foneemien visuaalisia vastineita.

#### **3.4.4 Parametrisoinnit ja mallit**

Tässä alaosiossa käsitellään yleisesti käytettyjä parametrisoiteja ja produktiossa käytetty kasvomalli.

### **FACS**

Facial Action Coding System (FACS) on ihmiskasvojen ilmeiden kuvaukseen tarkoitettu järjestelmä, jota käytetään lähtökohdastaan huolimatta yleisesti kasvoanimoinnissa. Järjestelmän perustana ovat liikeyksiköt (engl. action unit, AU), jotka ovat pienimpiä ihmissilmin toisistaan selkeästi erotettavia kasvojen perusliikkeiden kuvauksia. Liikeyksiköitä on määritetty 46, ja ne perustuvat kasvojen lihaksiston analyysiin, mutteivät kuitenkaan täysin vastata yksittäisten lihasten toimintaa. (Parke & Waters 1996, Deng & Noh 2007)

Järjestelmän puutteina ovat puheanimoinnissa käytettyjen viseemien ja ajallisen ulottuvuuden puuttuminen (Parent 2002). Liikeyksiköitä on myös hyvin paljon, jolloin kaikkien toteuttaminen malliin on hyvin työlästä. Liikeyksiköitä käytettäessä animointiparametrisointina ongelmana ovat myös liikeyksiköiden konfliktit (Parke & Waters 1996), kuten suoraan parametrisoiduissa malleissa.

#### **MPEG-4**

MPEG-4 on ISO-standardi multimedian koodaukseen (ISO 2002). Standardiin kuuluu kasvoanimoinnin koodauksen määrittely, jonka tarkoituksena on mahdollistaa kasvomallin animointi pienellä tiedonsiirtotarpeella. Tätä varten standardi määrittelee kasvomallin, jota voidaan animoida käyttäen 68:aa kasvoanimaatioparametria (engl. Facial Animation Parameter, FAP) (Tekalp & Ostermann 2000). Toisin kuin FACS, ovat malli ja sen parametrisointi nimenomaan tarkoitettu tietokoneella tehdyn animoinnin kontrollointiin (Mäkäräinen 2006).

MPEG-4 määrittelee neutraaleille kasvoille piirrepisteet (engl. feature points). Piirrepisteet toimivat kasvojen muodon määrittelijöinä ja FAP:ien spatiaalisina kohdentimina; FAP:it määrittellään tiettyjen piirrepisteiden siirtyminä, mutta kaikkiin pisteisiin ei liity FAP:ia. Piirrepisteillä voidaan toteuttaa karkea polygoniverkosta muodostuva kasvomalli. Standardin mukaisen mallin ei kuitenkaan tarvitse sisältää piirrepisteitä, kun malli toteuttaa vastaavan parametrisoinnin. (Tekalp & Ostermann 2000)

FAP:it perustuvat ”pienimpien aistittavien liikkeiden tutkimukseen ja kytkeytyvät läheisesti kasvojen lihaksistoon”. Standardi määrittelee perusparametrien lisäksi yhden korkean tason parametrien ryhmän, jossa on 14 viseemiä ja 6 tunneilmettä. Kummankin tyyppisiä korkean tason parametrejä voidaan interpoloida kahden valinnaisen ilmeen välillä. Korkean tason parametrien käyttö yhtä aikaa alemman tason parametrien kanssa voi tuottaa outoja ilmeitä. (Tekalp & Ostermann 2000)

#### **MARC ja VirChor**

MARC on tosiaikainen kasvomalli, joka on kehitetty virtuaalisen hahmon tunnetiloihin liittyvien hienovaraisten kasvonmuutosten tutkimiseen (Courgeon ym. 2008a, Courgeon ym. 2008b). Malli on pyritty toteuttamaan mahdollisimman todenmukaiseksi kuvantamalla ilmeiden aiheuttamat rypyt, varjot ja tunteisiin liittyvät ihon värin muutokset. Tiedot ovat diplomityön kokeellisen osuuden aikaisesta versiosta. MARC:ia on sittemmin kehitetty eteenpäin (MARC 2010).

MARC on toteutukseltaan suoraan parametrisoitu polygoniverkkomalli. Mallilla

on kahdentasoinen parametrisointi. Alemman tason parametrisointina on 73 MPEG-4:n mukaisen piirrepisteen kolmiulotteiset siirtymät suhteessa neutraaliin ilmeeseen. Piirrepisteet toimivat ohjauspisteinä, joiden suhteen verteksien siirtymät lasketaan grafiikkakiihdyttimessä verteksiohjelmalla. Hienovaraiset kasvonmuutokset ovat toteutettu teksturoinnilla ja fragmenttivarjostimella.

Ylemmän tason parametrisointina on etukäteen määriteltyjen ilmeiden painoarvot. Mallille on määritelty 21 ranskalaista viseemiä, 16 tunneilmettä ja noin 15 pienempää paikallista muutosta. Jokainen ilme on määritelty täydellisenä alemman tason parametrijoukkona eli kaikkien piirrepisteiden siirtyminä. Kuvannettava alemman tason parametrit  $\mathbf{p}_{ala}$  lasketaan ylemmän tason parametreista *ylä*:

$$\mathbf{p}_{ala} = \sum_i ylä_i * [siirtymä_1 \dots siirtymä_{73}]. \quad (3.11)$$

Ylemmän tason parametrisointi ja MARC mallin kuvannus on toteutettu avoimeen lähdekoodiin perustuvalla Virtual Choreographer (VirChor 2008) nimisellä järjestelmällä. VirChor on vuorovaikutuksellisen kolmiulotteisen grafiikan esitys- ja kuvantamisohjelma (Courgeon ym. 2008b). Ohjelma käyttää omaa XML-pohjaista mallinnus- ja skriptauskieltä, joilla kolmiulotteinen maailma ja animointi mallinetaan näkymägraafiksi. Malli animoidaan solmujen välisillä sekä ohjelman ulkopuolelta tulevilla viesteillä, jotka käynnistävät skriptejä muokkaamaan solmuja ja solmujen attribuutteja.

## Luku 4

# Tehosteiden ohjaus ja vuorovaikutuskeinot

Tässä luvussa esitellään erilaisia keinoja, joilla tehosteita voidaan ajoittaa ja ohjata. Ensin tehdään yleiskatsaus erilaisiin vuorovaikutusmenetelmiin, jonka jälkeen esitellään tarkemmin produktiossa käytetty kasvojen seuraamisen menetelmä.

### 4.1 Ajoittaminen

Perinteisesti tehostemies käynnistää ennalta määritellyjä tehosteita ja niiden muutoksia. Tätä voidaan kutsua liipaisu-tekniikaksi. Liipaisu voidaan toteuttaa myös esiintyjien toimesta erilaisin sensorein, jotka tunnistavat selkeän diskreetin tapahtuman. Liipaisimena voidaan käyttää esimerkiksi lattiapainiketta, lasersäteen katkaisua tai mittauksen tuloksen raja-arvon ylitystä.

Tarkemman vuorovaikutuksen toteuttamiseen tarvitaan kuitenkin jatkuvampaa informaatiota esityksen etenemisestä. Oopperassa kapellimestari johtaa valtaosan esityksen kulusta. Ilmonen & Takala (1999) esittelevät menetelmän, jossa kapellimestarin käsien ja tahtipuikon liikkeistä saadaan määriteltyä tarkasti kappaleen rytmii ja joitain soitto-ohjeita.

Soitonseurannassa tietokone seuraa soiton etenemistä automaattisesti. Soitonseurannalla voidaan saada informaatiota soitannon nopeudesta, voimakkuudesta ja soitettavista nuoteista. Attila (2006) huomasi, että soitannon ja nuottien perusteella on vaikeaa päätellä missä kohtaa soitettavaa kappaletta ollaan, koska soitto eroaa aina nuotinnuksesta.

## 4.2 Ohjaaminen

Tehosteiden ohjaamisessa tehosteen tila tai kehittyminen määritellään tosiaikaisesti esityksen aikana. Tehostemiehen ohjatessa tehosteita voidaan käyttää varsin perinteisiä, yksinkertaisia käyttöliittymäteknikoita. Näyttelijöiden kontrolliin soveltuu kuitenkin paremmin kolmiulotteiset käyttöliittymät, joita on käytetty ja kehitetty varsinkin virtuaalitodellisuuden sovelluksiin.

Virtuaalitodellisuuden käyttöliittymien menetelmät voidaan jakaa passiivisiin ja aktiivisiin (Sherman & Craig 2003). Passiivisissa menetelmissä tietokone seuraa käyttäjää sensorein, ja aktiivisissa menetelmissä käyttäjä antaa ohjauksen jonkin laitteen avulla. Aktiivisten menetelmien laitteiden ulkomuoto ei välttämättä sovellu näyttämökuvaan. Rekvisiittana voidaan kuitenkin käyttää myös passiivisesti seurattuja laitteita, jolloin näyttelijä voi käyttää esinettä hyvinkin luonnollisesti ilman ylimääräistä henkistä kuormaa.

Ihmisen ja esineen paikantamiseen virtuaalitodellisuuden sovelluksissa käytetään usein menetelmiä, joissa seurattavaan kohteeseen ja ympäristöön kiinnitetään sensoreita tai lähettimiä. Menetelmien toimintaperiaatteena voi olla mekaaninen, optinen, magneettinen, akustinen tai inertiaan perustuva mittaaminen. Taulukossa 4.1 on esitelty eri tekniikoiden ominaisuuksia ja rajoitteita.

Taulukko 4.1: Paikannusmenetelmien ominaisuuksia (Lokki 2003, Sherman 2003).

	Mekaaninen	Optinen	Magneettinen	Akustinen	Inertia
Tarkkuus	0,1–2,5 mm	0,1–2,5 mm	n. 1–3 mm	n. 1–3 mm	tarkka
Päivitystaajuus	yli 1000 Hz	100–10000 Hz	20–150 Hz	20–150 Hz	0–500 Hz
Näköyhteys	fyysinen yhteys	tarvitaan	ei tarvita	tarvitaan	ei tarvita
Toiminta-alue	0–2 m	laaja	0–3 m	0–3 m	erittäin laaja
Muuta	kömpelöt sensorit, rajoittunut		tarkkuus heikenee etäällä	ei sovellu meluisaan ympäristöön	virhe kumuloiduu ajassa

Mekaanisen menetelmässä käytetään kookkaita rakenteita, mutta muissa menetelmissä lähetin tai vastaanotin on sen verran pieni, että se voidaan liittää tai piilottaa seurattavaan kohteeseen varsin huomaamattomasti. Inertiamenetelmät perustuvat kiihtyvyyden mittaamiseen, joten niillä voidaan helposti saada tietoa kiihtyvyyksistä

ja sensorin orientaatiosta. Myös magneettiset menetelmät pystyvät helposti mittaamaan orientaation.

### 4.3 Optiset menetelmät

Optiset menetelmät voivat olla joko markkereihin perustuvia tai markkerittomia. Markkereiden etuna on tarkka ja luotettava tunnistaminen. Markkerittomilla tekniikoilla voidaan tunnistaa laajempia kokonaisuuksia ilman markkereiden mahdollista visuaalista häiriötä.

Teatterikäytössä markkerit voidaan toteuttaa halvalla ihmissilmälle näkymättömillä lähi-infrapunan aallonpituuksilla, sillä kameroiden kuvakennoissa käytetty tekniikka on herkkää lähi-infrapunalle. Park & Park (2004) esittelevät ihmissilmälle mielen lisätyn todellisuuden sovelluksissa yleisesti käytetyt markkerit saadaan ihmissilmälle näkymättömiksi. Markkereina voidaan käyttää myös lähi-infrapunaa säteileviä ledejä.

Markkerittomissa menetelmissä haasteena on erottaa muuttuvat kohteet, kuten näyttelijät, kameran kuvasta valaisun tai projisoinnin aiheuttaman taustan vaihtelusta huolimatta. Käyttämällä lähi-infrapunavaloa voidaan projisoinnin vaikutus taustaan poistaa, koska projektorit eivät tuota lähi-infrapunavaloa. Näyttelijöitä voidaan lisäksi korostaa kuvassa valaisemalla heidät lähi-infrapunavalolla kuten Kuhn'in (2006) esittelemässä oopperassa tehtiin.

Ivanov ym. (1998) esittelevät menetelmän, jolla tausta saadaan erotetuksi kuvasta valaistuksen ja projisoinnin muutoksista huolimatta. Menetelmä perustuu kameroiden stereoasetteluun. Kuva-alueelle tuodut esteet erottuvat esityönä muodostetun pikselikohtaisen vastaavuusvertailun epäkohtien myötä.

Useammasta suunnasta saatujen siluettikuvien pohjalta voidaan myös laskea tilavuusmalli näyttämöstä. Tilavuusmallin avulla voidaan muun muassa identifioida yksittäisiä näyttelijöitä vaikka siluetit risteäisivät joidenkin kameroiden kuvissa (Art + Com 2005).

### 4.4 Kasvojen liikemallinnus

Liikkeenmallinnus (engl. motion capture) tarkoittaa ihmisen liikkeiden ”mittaamista, digitalisointia ja tallentamista” (Parent 2002). Kasvojen liikemallinnuksen pohjalta tehty esimerkkipohjainen animointi on vaikeaa, koska kasvot ovat joustava kokonaisuus, jossa pienillä muutoksilla ajan ja paikan suhteen on vaikutusta katsojan tulkintaan (Borshukov ym. 2005). Pehmeiden ja tarvittavan spatiaalisen tarkkuuden

vaatimusten vuoksi useimmat menetelmät perustuvat kameroihin ja konenäön menetelmiin. Liikkeenmallinnusmenetelmät voidaan jakaa tosiaikaisuuden ja markkerien käytön perusteella.

#### 4.4.1 Jälkikäteen analysoidut ja markkerilliset menetelmät

Jälkikäteen analysoinnissa voidaan käyttää laskentatehoa hyödyksi, jolloin kuvaa voidaan analysoida suurella spatiaalisella ja temporaalisella resoluutiolla. Markkerittomana esimerkkinä annettakoon kaupallinen Image Metrics:in järjestelmä, joka pystyy analysoimaan kasvojen ilmeen videokuvasta tilastollisen mallin avulla (Pavey 2007). Analyysin tuloksena on parametreja kasvonpiirteiden lisäksi silmistä, kulmakarvoista, kielestä ja ihorypyistä.

Yksinkertaisimmillaan tosiaikaisen liikemallinnuksen voi toteuttaa piirtämällä kasvoille selkeitä merkintöjä tai kiinnittämällä kasvoihin retroreflektiivisiä markkereita. Merkintöjen löytyminen kameran kuvasta on melko suoraviivaista ja varmaa pään liikkeen ollessa rajoitettu kameraa kohden (Parke & Waters 1996). Animointi voidaan tehdä venyttämällä tekstuuri saatuun kaksiulotteiseen pistedataan tai käyttäen pistedataa ohjauspisteinä polygoniverkolle (Parke & Waters 1996).

#### 4.4.2 Tosiaikaiset markkerittomat menetelmät

Markkerittomassa liikemallinnuksessa tavoite on saada kasvoista mitattua ohjausdataa kasvojen luonnollisten piirteiden perusteella. Täydellinen animointi pelkkien piirteiden perusteella vaatii pään liikkeen havaitsemisen, kasvojen piirteiden identifioimisen ja piirteiden muotojen löytämisen kuvasta (Parke & Waters 1996).

Kasvojen ja kasvopiirteiden identifiointi kuvasta, jossa on satunnaista taustaa näkyvillä, on paljon tutkittu ongelma. Identifiointiongelmaan on kaksi lähestymistapaa: piirre pohjainen ja kuvapohjainen (Hjelmås & Low 2001). Piirre pohjaisilla menetelmillä tarkoitetaan piirteiden mittauksia, mutta ne ovat huonoja erottamaan piirteitä kuvan taustasta. Kuvapohjaiset menetelmät soveltuvat kasvojen erottamiseen taustasta.

Erilaisten menetelmien yhdistämisellä voidaan saada aikaan hyvä lopputulos. Martin ym. (2005) esittelee tosiaikaisen videolta kasvomallille ilmeitä kopioivan menetelmän, joka yhdistää kolme eri konenäön menetelmää. Algoritmi alustetaan etsimällä kuvasta kasvot kuvapohjaisella menetelmällä. Kasvojen piirrepisteet etsitään piirre pohjaisella haulilla ja liikkeenseuranta toteutetaan piirrepisteitä seuraamalla. Kasvomallina käytetään Candide3-polygoniverkkomallia (Ahlberg 2001).

### 4.4.3 Piirteiden mittaus

Kasvojen piirteiden mittaus kuvasta tehdään konenäön keinoin. Kuva on diskreetti intensiteetti- ja/tai värifunktio sijainnin suhteen. Videokuvassa voidaan huomioda myös temporaalinen ulottuvuus. Erilaisista väriavaruuksista HSI ja HSV-väriavaruudet antavat selkeän eron ihon ja muiden kasvopiirteiden välille (Hjelmås & Low 2001). Kyseiset väriavaruudet ovat myös ”hyvin lähellä ihmisen käsitystä väreistä” (Sobottka & Pitas 1996), joten niillä voidaan määritellä rajat intuitiivisesti. Mittaukset perustuvat siis näihin ominaisuuksiin. Mittauksia haittaa kuvassa oleva häiriö ja näytteistykseen rajoitettu erottelutarkkuus.

#### Reunat

Reunojen sijainti voidaan päätellä pikselien gradientin muutoskohdista (Snyder & Qi 2004). Kynnystäminen voi jättää reunaan aukkoja, joista pienet voidaan täyttää esimerkiksi morfologisilla operaattoreilla. Canny-algoritmi pyrkii täyttämään aukot käyttämällä kahta kynnysarvoa, joilla se muodostaa intensiteetin gradientin suunnan ja voimakkuuden perusteella reunoja (Snyder & Qi 2004).

Heikosti erottuvien reunojen etsintämenetelmissä reunan sijainnista oltava ennakoavistus. Yksi menetelmä on aktiivinen reuna (engl. active contour), joka on iteratiivisesti liikkuva avoin tai suljettu murtoviiva. Murtoviivan sijainti lasketaan iteratiivisesti minimoimalla murtoviivan energiafunktio. Energiafunktiossa otetaan huomioon murtoviivan oma muoto sekä viivan alla olevan kuvan ominaisuudet. (Snyder & Qi 2004)

#### Piirteiden sovittaminen

Piirteitä voi mitata myös muotoaan muuttavilla mallinteilla (engl. template). Mallinteet ovat parametrisoituja malleja etsittävästä tai mitattavasta piirteestä. Väärin valittu mallinteen aloituspaikka voi johtaa mallinteen konvergoitumisen virheelliseen sijaintiin. (Hjelmås & Low 2001)

Mallinteelle hyvin läheisiä menetelmiä ovat pistejakaumamalli (engl. point distribution model, PDM) ja aktiivinen ulkomuotomalli (engl. active appearance model, AAM). PDM on piirrettä kuvaava pistejoukko, joka sovitetaan pistemittausten perusteella kuvaan ennalta opetettujen rajoitteiden puitteissa. AAM sovitetaan myöskin opetettujen pisteiden perusteella, mutta sijoittamisessa käytetään hyväksi myös opetettua tekstuuria (Cootes ym. 2001).



### **Liikkeen tunnistaminen**

Liikkuvat kohteiden aiheuttamat ajalliset muutokset erottuvat erotuskuvissa, minkä perusteella kasvon liikkuvia osia voidaan segmentoida (Low & Ibrahim 1997). Pienten tai hitaiden liikkeiden tapauksessa liike voidaan selvittää tarkemmin reunojen siirtymien avulla (Hjelmås & Low 2001).

Optisen virran menetelmissä seurataan kuvan osien siirtymistä kuvien välillä. Bouguet (2000) esittelee optisen virran menetelmän, joka etsii eri resoluutioilla Lucas-Canade -algoritmin mukaisesti pienet siirtymät gradientin avulla ja yhdistää eri resoluutioista saadut siirtymät kokonaissiirtymäksi. Menetelmä mahdollistaa piirrepiirteiden seuraamisen kuvasta toiseen.

### **Piirrepohjainen kasvohaku**

Piirrepohjaisia menetelmiä voidaan käyttää myös kasvojen identifioimiseen kuvasta (Hjelmås & Low 2001). Yksittäisten kasvopiirteiden haun tuloksena on kuitenkin todennäköisesti vääriä tuloksia taustan tai kasvojen alueelta. Kasvo-osuma voidaan varmistaa käyttäen hyväksi kasvopiirteiden anatomisia suhteita; löydetyn piirteen perusteella voidaan etsiä lähistöltä muitakin kasvojen piirteitä, joiden löytyminen varmistaa kyseessä olevan kasvot (Hjelmås & Low 2001). Hyviä piirteitä muiden piirteiden löytämiseen ovat esimerkiksi nenä, kulmakarvat, hiusraja, ihoalueet ja silmät. Lähestymistapaa voidaan käyttää myös mittaamaan heikommin erottuvia piirteitä paikallistamalla ne selkeästi erottuvien piirteiden avulla.

#### **4.4.4 Kuvapohjaiset menetelmät**

Kuvapohjaisten menetelmien peruslähtökohtana ovat hahmontunnistusmenetelmät, jotka opetetaan luokittelemaan kuvat kasvokuviiin ja kuviin, joissa kasvoja ei ole (Hjelmås & Low 2001). Kuvapohjaisissa menetelmissä käytetään kasvoille tyypillisiä piirteitä erottamaan kasvot muista kuvista. Piirteet eivät kuitenkaan ole kasvon anatomisia osia, vaan kuvasta eri tavoin laskettuja arvoja. Parhaiten kasvot erottavien piirteiden valinta tapahtuu opetusalgoritmillä.

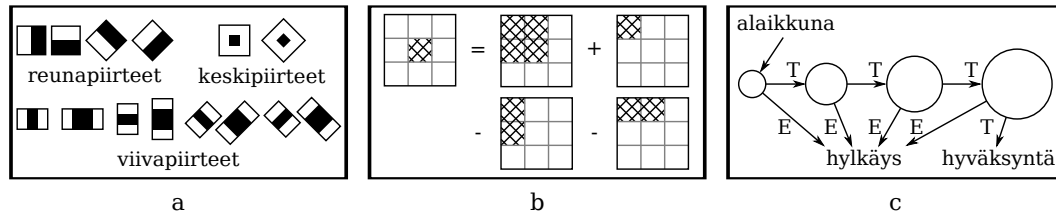
Opetusalgoritmillemme annetaan yleensä kuvia kyllä- ja ei-luokasta. Opetusalgoritmi etsii piirteet, jotka erottavat mainitut luokat mahdollisimman tarkasti (Hjelmås & Low 2001). On kuitenkin todennäköistä, että vääriä luokitteluja tulee. Mikäli luokittelussa on merkittävää kummanlaisia vääriä luokitteluja tulee voidaan menetelmästä riippuen luokittelun rajaa korjata lähemmäs toista luokkaa.

Opetuskuvat ovat etsittävän luokan kohteen kokoisia, jotta taustan satunnaisvaikutus ei vaikuttaisi tunnistamiseen. Luokittelujärjestelmä osaakin täten yleensä luo-

kitella vain esimerkkien kokoisia kohdealueita. Menetelmät toteuttavatkin yleensä perinpohjaisen lähdekuvan läpikäynnin, jolloin kuvasta luokitellaan eri sijainnissa olevia erikokoisia alueita (Hjelmås & Low 2001). Läpikäynti voi olla laskennallisesti erittäin vaativa.

### Nopea kohteiden havaitseminen

Viola & Jones (2001) esittelevät nopean kuvapohjaisen havaitsemismenetelmän, jota Lienhart & Maydt (2002) ovat parantaneet. Menetelmä perustuu nopeasti laskettavaan piirteisiin, oppimisalgoritmiin ja monimutkaistuviin luokitteluvaiheisiin. Kuvattu menetelmä toimii kuvan intensiteetin perusteella. Seuraava menetelmän esittely perustuu Viola & Jones'in (2001) artikkeliin, ellei muuta mainita.



Kuva 4.1: Viola & Jones'in (2001) esittelemän menetelmän osat: a) Haar-aallokkeen tyyliset piirteet (Lienhart & Maydt 2002); b) vapaasti valitun neliön intensiteetin summan laskenta; c) päätöksentekosarja, jossa laskennallinen vaativuus kasvaa jaksoittain (t = tosi, e = epätosi).

Piirteinä käytetään kahden nelikulmion sisään jäävän kuvan intensiteettien summien painotettua erotusta (Lienhart & Maydt 2002). Etsittävää piirremäärää rajoitetaan kuvassa 4.1a näkyviin malleihin, mutta piirrejoukkoon kuuluvat näiden skaalaukset ja translaatiot hakuikkunassa. Yksittäiselle piirteelle voidaan laskea kuvan piirrearvo kaavalla

$$piirre_i = summa(a_i) - (koko(b_i)/koko(a_i)) * summa(b_i), \quad (4.1)$$

jossa  $a_i$  ja  $b_i$  ovat nelikulmiot,  $koko$  on nelikulmion ala ja  $summa$  on alueen intensiteettien summa.

Piirrearvojen nopeaa laskentaa varten lasketaan analysoitavan kuvan kokoinen summa-aluetaulu *SAT* (engl. summed area table) kaavalla

$$SAT(x, y) = \sum_{\substack{i \leq x \\ j \leq y}} \mathbf{I}(i, j). \quad (4.2)$$

Laskenta voidaan tehdä yhdellä kuvan pikselien läpikäynnillä. Kuvassa 4.1b näytetään kuinka taulukon avulla voidaan laskea minkä tahansa nelikulmion alueen intensiteettien summa nopeasti neljällä taulukkohauulla. Vinojen piirteitä varten luodaan vastaavanlainen taulukko *RSAT* (Lienhart & Maydt 2002).

Menetelmässä normalisoidaan opetuskuvioiden varianssi valaistuksen vaikutuksen vähentämiseksi. Hakuhetkellä vastaava varianssin normalisointi tehdään kertomalla piirre-arvot intensiteettien toisen potenssin *SAT* tai *RSAT*-taulukolla.

Menetelmän oppimisjaksossa etsitään piirteet, jotka erottavat mahdollisimman hyvin kyllä- ja ei-luokat. Samalla lasketaan piirteeseen liittyvä kynnyisarvo  $\theta$  ja -suunta  $p = -1 \vee 1$ , joilla päätellään kumpaan luokkaan mitattu piirre viittaisi. Näillä tiedoilla muodostetaan yksinkertaisia binaariluokittimia

$$h_j(x) = \begin{cases} a, & p_j x < p_j \theta \\ b, & \text{muulloin} \end{cases}. \quad (4.3)$$

Yksittäisistä luokittimista voidaan koota monimutkaisempia niin kutsutuilla boosting-menetelmillä. Viola & Jones (2001) käyttää AdaBoost-menetelmää luomaan kompleksisuudeltaan eritasoisia tunnistimia, jotka säädetään hylkäämään vain vähän näytteistä. Kuvassa 4.1c esitetään, kuinka hakuikkunan osa-alueen eli alaikkunan tunnistus tehdään sarjana, jossa tunnistimien kompleksisuus kasvaa.

## Luku 5

# Tavoitteet ja suunnitellut tehosteet

Tässä luvussa kuvataan lähtökohdat tehosteille Ihmiskunnan Rakastajat -oopperaesityksessä. Ensin kuvataan yleiset tavoitteet esityksen tehosteille. Tämän jälkeen esitellään oopperaesityksen juoni tehosteiden kontekstin selvittämiseksi. Viimeisenä kuvataan kohtauksittain suunnitellut tehosteet ja niiden taiteelliset tavoitteet. Toteutetut tehosteet kuvataan tarkemmin luvussa 7.

### 5.1 Tehosteiden tavoitteet

Tehosteiden käyttämisellä pyrittiin luomaan esitykseen lisäarvoa mahdollistamalla taiteelliselle ryhmälle uudenlaisia keinoja toteuttaa ja viestittää visiotaan esityksestä. Digitaalisten tehosteiden oli tarkoitus tukea taiteellista kerrontaa ja laajentaa sen mahdollisuuksia.

Tutkimuksen kohteena olivat ensisijaisesti näyttelijöiden kanssa vuorovaikutteiset visuaaliset tehosteet. Tavoitteena oli toteuttaa tehosteita, jotka eivät rajoita näyttelijöiden esiintymistä eivätkä esiintymistäiteen vapaata, ajasta riippumatonta muotoa.

Tehosteiden on tarkoitus kuulua luontevasti esitykseen, mutta tehosteilla tulee kuitenkin olla esityksen kerronnassa jokin rooli, jonka yleisö huomaa ja ymmärtää. Toteutettaviksi suunniteltujen tehosteiden valinnassa merkittävimmät kriteerit olivat taiteellinen lisäarvo, näyttävyys esityksen osana, soveltuvuus esitykseen ja tieteellinen kiinnostavuus.

### 5.1.1 Tekniset tavoitteet

Esitykseen haluttiin projektin alusta asti toteuttaa tutkimuksen kannalta olennaiset kaksi jatkuvaa vuorovaikutusta käyttävää tehostetta. Näistä ensimmäinen oli laulajan suun liikkeiden toistaminen tosiaikaisesti virtuaalisella avatarilla, joka näytettäisiin yleisölle laulajan kanssa rinnan. Toinen oli rekvisiitan seuraaminen siten, että se toimisi avaimena virtuaalisen ja fyysisen maailman välillä.

Rekvisiitan seuraaminen jalostui projektin edetessä projisointipintojen seuraamiseksi. Tavoitteena oli heijastaa näyttelijöiden liikuttamiin pintoihin tosiaikaista grafiikkaa. Näin yhteen tehosteeseen yhdistyi jatkuvan vuorovaikutuksen sekä virtuaalisen lavastuksen projisoinnin mahdollisuuksien kokeilua.

## 5.2 Suunnittelu

Kaikki tehosteet suunniteltiin yhdessä oopperan taiteellisen tuotantoryhmän kanssa. Suunnittelun olennaisimmat osallistujat taiteellisesta ryhmästä olivat ohjaaja Marielle Eklund-Vasama ja lavastajat Kalle Ahola sekä Samuli Laine. Ohjaajan kanssa suunniteltiin tehosteiden toiminnallisuus ja merkitys, ja lavastajien tehtäväksi jäi luoda tehosteiden graafinen ilme. Kehitysprosessin aikana taiteelliselle tuotantoryhmälle pyrittiin antamaan käsitys tekniikan mahdollisuuksista ja rajoitteista.

### 5.2.1 Tehosteiden vaikutus fyysisen lavastuksen suunnitteluun

Digitaaliset visuaaliset tehosteet tarvitsevat näyttämölle jonkinlaisen näyttötavan. Projektin alkuvaiheessa oli jo selvää, että visuaaliset tehosteet heijastettaisiin näyttämölle videoprojektorilla. Näin ollen lavastuksessa piti olla pintoja, joihin tehosteet voitaisiin heijastaa.

Visuaalisilla tehosteilla haluttiin pystyä luomaan lavastuksellisia kokonaisuuksia, joissa tehosteilla luodut digitaaliset lavasteet levittäytyvät koko esiintymisnäyttämölle. Tavoitteena oli saada virtuaaliset lavasteet olemaan samassa tilassa näyttelijöiden kanssa, eikä vain taustalla. Tämän toteuttamiseksi fyysiselle lavastukselle asetettiin tavoitteeksi näyttämön eri syvyystasoilla olevat projisointipinnat.

### 5.2.2 Näytelmä

Tarina kertoo kahden henkilön maailmankuvien törmäyksestä. Libreton on kirjoittanut Ossi Koskelainen ja se pohjautuu löyhästi Euripideen (480 – 406 eKr.) näytelmään Bakkhantit.

Tarinan päähenkilöt ovat Gill Bates, Neopiilaaksossa toimivan Apollosoft-yrityksen ja miesinsinöörikuoron palvoma johtaja, sekä Benzedrine Penthouse, Diotosh-yhtiön kehittämä ihmisrobotti. Gill Bates luottaa teknologiaan ihmiskunnan parantavana ja yhtenäistävänä voimana, mutta ei hyväksy ihmisrobotiteknologiaa.

Näytelmässä Apollosoft-yritys on julkistamassa uuden tuotteen markkinoille. Tuote on Thyrsos 2 -lappäri, joka kilpailee ihmisrobotiteknologian kanssa.

Benzedrinen luoja, Ilkka Haukka, on ihmisrobotin luotuaan kääntynyt Gill Batesin kannalle. Ilkka yrittää kääntyttää myös Benzedrinen, mutta Benzedrine vain suuttuu ja hakeutuu Neopiilaaksoon. Neopiilaaksossa Benzedrine näkee puutarhaan rauhoittumaan tulleen Gillin ja kappaa hänet omaan bunkkeriinsa.

Bunkkerissa Benzedrine uhkaa tappa Gillin, mutta Gill saa suostuteltua Benzedrinen tulemaan kanssaan Thyrsos 2:n julkistamistilaisuuteen lupaamalla Benzedrinnelle mahdollisuuden esittää omat näkemyksensä miesinsinöörikuorolle.

Neopiilaaksossa Gill onnistuu hämäämään Benzedrineä kutsumalla paikalle Benzedrinen Agatha-äidin, joka on myös kääntynyt Gill Batesin kannalle. Tällöin miesinsinöörikuoro saa riistettyä aseensa pois Benzedrineltä. Lopuksi Gill pakottaa Agathan dekadaamaan Benzedrinen kuoliaaksi.

### 5.2.3 Suunnittelut tehosteet

Tässä alaosiossa kuvataan näytelmä kohtauksittain ja niihin suunnitellut digitaaliset visuaaliset tehosteet. Kuvatut kohtausten tavoitellut tunnelmat perustuvat ohjaajan näkemyksiin ja tehosteiden merkitykset kirjoittajan käsitykseen siitä, mitä tehosteita haluttiin.

Kehitysprosessin ja aikataulullisten ongelmien vuoksi kaikkia suunniteltuja tehosteita ei ehditty toteuttamaan. Osa tehosteista jätettiin toteuttamatta, ja osa tehosteista jouduttiin tekemään videona ilman vuorovaikutuksellisia mahdollisuuksia.

Alkuperäisissä suunnitelmissa tehosteiden yhdistävänä ja kantavana teemana olivat pisteet, jotka olisivat olleet useimmiten Gillin ohjattavissa. Ideana oli, etteivät pisteet lainkaan häviäsi näyttämöltä, vaan olisivat muodossa tai toisessa osallisena kaikissa lavasteissa ja tehosteissa. Tällaista pisteistä muodostuvaa tehosteita yhdistävää "lankaa" ei kuitenkaan saatu lopulta muodostettua, koska osaan tehosteista niitä ei ehditty toteuttaa ja osa tehosteista jäi tekemättä tai käyttämättä. Lopulta pisteideasta luovuttiin.

**Kohtaus 1: Painajaisuni ja miesinsinöörikuoro**

Gill Bates herää painajaisunesta ja pitää monologin. Monologin jälkeen hän kutsuu miesinsinöörit paikalle ja kertoo heille, että samana päivänä julkaistaan Thyrsos 2 -läppäri ja että samassa kaupungissa on kilpailevan yhtiön ihmisrobotti testauksessa.

Kohtauksen alkuun haluttiin luoda kliininen ja kylmä tunnelma, joka ei kaivannut tehosteita. Gillin puhuessa insinööreille tunnelma haluttiin puolestaan saada inhimilliseksi ja pehmeäksi.

Miesinsinöörien kuunnellessa Gilliä haluttiin kohtauksen tehosteeksi saada Gillin virtuaalinen pää laulamaan insinöörien pitelemiin Thyrsos-merkkisiin kannettaviin tietokoneisiin. Tehosteen tarkoitus oli kuvastaa Gillin tekniikan mahdollistamaa olemista kaikkialla ja samalla insinöörien henkilökohtaista suhdetta ja riippuvuutta hänestä. Kannettavien seuranta ei ehditty toteuttaa projektin puitteissa, joten avatar päätettiin heijastaa lavastuksen projisointipintoihin.

**Kohtaus 2: Aamumeditaatio**

Agatha, Gillin apuri, pitää miesinsinöörikuorolle aamunavauksen, jossa valmistaudutaan Thyrsos 2:n julkistamiseen. Kohtaukseen haluttiin saada intensiivinen tunnelma.

Visuaaliseksi tehosteeksi haluttiin saada insinöörien päistä nousemaan pisteitä, jotka kerääntyvät yhteen kiertämään Gillin pään päälle ilmestynyttä laajenevaa ympyrää. Tehosteen oli tarkoitus kuvastaa Gillin olemusta mehiläiskuningattarena, jonka vaikutuksesta insinöörit hääraävät hänen ympärillään.

**Kohtaus 3: Ilkka vierailee Benezdrinen luona**

Ilkka vierailee Benezdrinen luona yrittäen saada Benezdrinen kääntymään suosiolliseksi Gillille. Tunnelmaltaan kohtauksesta haluttiin hyvin armoton ja kuiva.

Ilkan tullessa sisään haluttiin lavasteisiin heijastaa kubistinen valkoinen ovi, jonka muoto viittaisi valon muodostamaan kuvioon oviaukosta. Hahmojen keskustelun aikana haluttiin lavasteisiin ilmestyvän Ilkan vuorosanojen sanoja, jotka täyttäsivät lavasteet hitaasti yksi kerrallaan. Tavoitteena oli saada raskas tunnelma, joka painostaa Benezdrineä.

Kohtauksen loppupuolella haluttiin Benezdrinen voivan virtsata oma nimensä takaseinään. Tehosteen tarkoitus oli kuvata Benezdrinen anarkistisuutta, individualisuutta sekä uhmaa isäänsä kohtaan. Tehoste oli tarkoitus toteuttaa vuorovaikutteisena Nintendo Wii -pelikonsolin ohjaimen avulla tai seuraamalla laserpistettä kameralla, mutta vuorovaikutteisuutta ei ehditty toteuttaa.

**Kohtaus 4: Premediatilaisuus**

Gill valmistelee insinöörejä ja Agathaa julkistamistilaisuuteen. Tunnelma haluttiin luoda sakraaliseksi ja ilmavaksi. Graafisten tehosteiden haluttiin antavan mielikuva laajenevasta tilasta. Lisäksi haluttiin saada Gillin saavuttua pisteitä laskeutumaan lavasteiden yläosista.

**Kohtaus 5: Benzedrine kaappaa Gillin**

Gill luo puutarhan. Puutarhan luominen haluttiin toteuttaa vuorovaikutuksellisesti, ja sillä haluttiin kuvastaa Gillin kaikkivoipaisuutta. Gillin tunteista haluttiin antaa kuva turhautumisesta, josta kumpuaa tietämys tai toive, että jotain on tapahduttava. Kesken puutarhan luonnin Benzedrine kaappaa Gillin. Kaappauskohtauksessa haluttiin puutarhan lakastuvan Gillin poistumisen takia.

Puutarhan vuorovaikutteista toteutusta ei ehditty tehdä. Heiluvien kukkien lakastuminen yhdellä videolla toteutettuna olisi rajoittanut liikaa ajastamista. Kahdella videolla toteutettuna se olisi aiheuttanut selkeän nykäyksen kukkiin videon vaihtuessa. Näistä syistä kukkien lakastumisesta luovuttiin.

**Kohtaus 6: Insinöörit ihmettelevät Gillin poissaoloa**

Insinöörikuoro ihmettelee Gillin poissaoloa. Tilanne haluttiin kuvastaa hyvin pysähtyneenä, jolloin tehosteena olisi vain lilluvia pisteitä. Pisteidean poistuessa toteutukseen haluttiin kuitenkin tuoda jotain hidasta liikettä.

**Kohtaus 7: Benzedrinen bunkkeri**

Benzedrine ja Gill keskustelevat Benzedrinen bunkkerissa. Keskustelun aikana Benzedrine uhkaa tappaa Gillin.

Kohtaukseen haluttiin saada aggressiivinen jännite, ja siihen haluttiin tuoda teknisenä tehosteena rekvisiitan automaattinen seuranta. Tehosteessa Gill järjestelisi bunkkeria siirtämällä fyysistä esinettä, jolloin esineeseen liittyvä virtuaalinen osa siirtyisi yhdessä fyysisen osan kanssa. Ideasta luovuttiin, koska siirtelyllä ei ollut taiteellisesti merkitystä, ja teknisesti samankaltainen seuranta oli tarkoitus toteuttaa kannettavien tietokoneiden seurantaan kohtauksessa 1.

Lopulta ohjaaja päätti sijoittaa Benzedrinen bunkkerin näyttämön alle, jolloin Gillistä ja Benzedrinestä näkyivät vain päät, eikä kohtaukseen haluttu ollenkaan visuaalisia tehosteita.



**Kohtaus 8: Radio ja lähtö**

Benzedrine suostuu Gillin viimeisenä toivomuksena kuuntelemaan uutisia. Radiossa Benzedrinen luojat kehuvat Apollosoft-yrityksen teknologista osaamista, moraalisia arvoja ja Gillin jumalallisuutta.

Gill houkuttelee Benzedrinen lähtemään kanssaan kertomaan Gillin seuraajille omasta elämäncatsomuksestaan. Benzedrine suostuu, ja ottaa Gillin panttivanngiksi aseella uhaten.

Radio-osuudessa haluttiin radiokuuluttajien olevan näyttämöllä, jotta katsojat ymmärtäisivät ketkä radiossa puhuvat. Itse tarinassa radiossa olevat henkilöt eivät kuitenkaan olleet Benzedrinen bunkkerin lähistöllä. Tehosteeksi haluttiin siksi saada radiota ja televisiota sekoittava tehoste, joka painottaaisi radiokuuluttajien olevan fyysisesti poissa, vaikka ovatkin näyttämöllä näkyvillä.

**Kohtaus 9: Insinöörien uinti**

Kohtauksessa insinöörit lohduttavat itseään uimalla kylmässä avannossa Gillin pois-saolon vuoksi.

Tehosteeksi haluttiin veden pinta, joka reagoisi insinöörien uintiliikkeisiin. Vuorovaikutus veden kanssa oli tarkoitus toteuttaa kameraseurannalla, mutta sitä ei ehditty saada valmiiksi.

Vedestä haluttiin saada liikekieleltään mahdollisimman oikean veden kaltainen, mutta silti hyvin pehmeä. Visuaaliselta olemukseltaan vedestä ei kuitenkaan haluttu täysin oikean veden näköistä, koska se olisi ollut ristiriidassa muiden tehosteiden ilmeen kanssa. Tavoitteeksi asetettiin lavastajien ehdottama viivamalli, jossa vesi muodostuu ikään kuin peräkkäisissä tasoissa olevista viivoista soluanimaatiossa joskus käytettyyn tyyliin.

**Kohtaus 10: Matka Neopiilaaksoon**

Gill ja Benzedrine matkaavat Neopiilaaksoon. Benzedrine on nauttinut hallusinaatiota aiheuttavaa ainetta. Kohtauksen tunnelma on jännittynyt ja aggressiivinen. Tehosteeksi haluttiin saada matkaamista kuvaamaan liikkuva puutarhamainen grafiikka, jonka lisäksi haluttiin luoda visuaalisia yhtymiä Benzedrinen matkallaan kokeisiin hallusinaatioihin.

**Kohtaus 11: Dekoodaus**

Gill ja Benzedrine saapuvat Apollosoft-yrityksen tiloihin. Gill saa Benzedrinen tolaan kutsumalla Benzedrinen äidin paikalle, jolloin insinöörit anastavat Benzedrinen aseensa. Lopulta Gill määrää Agathan dekoodaamaan Benzedrinen kuoliaaksi.

Kohtaukseen haluttiin näyttävät tehosteet, jotka visualisoisivat Agathan suorittaman Benzedrinen dekodauksen. Tehosteiden pohjaksi haluttiin Benzedrinen virtuaalinen pää, jonka suu liikkuisi fyysisen vastineen laulun tahdissa. Tavoite oli samaistaa katsojien mielissä näyttelijän esittämä Benzedrine ja virtuaalinen vastine. Tällöin virtuaalipäälle tehtävillä muutoksilla voitaisiin visualisoida Benzedrinen mielessä ja olemuksessa tapahtuvia muutoksia, joita ei oikein voitaisi esittää näyttelemällä.

Dekodauksen ja virtuaalipään suhteen oli monenlaisia, osittain ristiriitaisiakin ideoita. Kaikkien ideoiden toteuttaminen dekodaukseen ei olisi ollut mahdollista, koska dekodauksen koreografiassa oli vain rajallinen määrä erilaisia tilanteita. Tässä mainitaan merkittävimmät ideat, joita ei kuitenkaan toteutettu:

- Insinöörien haluttiin häpäisevän Benzedrineä leikkimällä sen virtuaalisen vastineen muodolla.
- Agatha dekodaisi virtuaalisesta Benzedrinestä yhä konemaisemman ja lopulta Pacmanin kaltaisen pikselöityneen keltaisen hahmon kiertämään lavastetta.
- Fyysisen Benzedrinen pään ”läpi” kulkisi pisteitä, jotka kaappaisivat mukaansa muistoja kuvina. Nämä muistokuvat sitten lentäisivät lavasteiden poikki ja muodostaisivat paloittain Benzedrinen virtuaalisen pään.

Aikataulun rajoitusten vuoksi dekodauksesta piti tehdä paljon alkuperäisiä suunnitelmia yksinkertaisempi. Lopulta Benzedrinen dekodauksessa tyydyttiin tavoittelemaan Benzedrinen virtuaalisen vastineen hävittämistä siten, että se kuvastaisi Benzedrinen henkisen puolen taantumista, ja lopulta koko hahmon kuolemista. Pään ihon haluttiin koostuvan muistokuvista, jotka häviäisivät hiljalleen häivyttäen samalla virtuaalisen pään. Muistojen riistämistä Benzedrineltä haluttiin painottaa esittämällä päästä kadonneet muistot muualla lavastuksessa, ikään kuin muisto olisi siirtynyt pois Benzedrinen päästä jonnekin muualle.

**Kohtaus 12: Epilogi**

Ilkka lohduttaa Agathaa, joka pitää Benzedrinen ruumista sylissään. Lavastuksella haluttiin luoda laaja, tyhjä tila tähtitaivasgraafikalla. Tehoste ei kuitenkaan ollut kovin merkittävässä asemassa kohtauksessa, joten se jätettiin toteuttamatta ajankäytöllisistä syistä.

## Luku 6

# Toteutettu järjestelmä

Tässä luvussa esitellään oopperaa varten toteutetulle järjestelmälle johdetut vaatimukset sekä toteutetun järjestelmän rakenne ja sen komponentit.

### 6.1 Vaatimukset

Luvussa 5 esitetyistä tavoitteista johdettiin toiminnalliset vaatimukset. Järjestelmän oli kyettävä

- kattamaan suurin osa lavasteista projisoinnilla,
- korjaamaan projisoinnista johtuva kuvan vääristyminen,
- esittämään lavastuksen kattavia ennalta tallennettuja videoita,
- esittämään näyttelijöiltä poimitut suun liikkeet virtuaalisilla kasvoilla ja
- mahdollistamaan erilaisten tehosteiden yhtäaikainen esittäminen pehmeiden kohtausvaihtojen ja yhdisteltyjen tehosteiden mahdollistamiseksi.

Tärkeimmät järjestelmälle asetetut laadulliset vaatimukset johtuvat käyttötilanteen esitysluonteesta. Kaikkien tehosteiden on oltava ohjattavissa tosiaikaisesti. Tämä pätee korostetusti laulajan tahdissa laulaviin virtuaalisiin päihin, missä viiveen minimoimisella on suurin merkitys.

Tehosteet ovat merkittävässä osassa esityksen visuaalista ilmettä, ja toimivat hetkittäin myös näyttelijöiden ohjaajina. Tämän takia järjestelmän tuli olla mahdollisimman robustinen. Mahdollisten virhetilanteiden aikana järjestelmän tulisi pysyä huomaamattomana, jotta esitys voisi jatkua tarvittaessa ilman tehosteita. Olennaisimpiin fyysisiin osiin tulisi olla pääsy myös esityksen aikana, esimerkiksi koneiden uudelleenkäynnistystä varten.

Projektin kehitys- ja suunnitteluprojektit limittyivät ajallisesti. Toteutettavien tehosteiden joukko ei ollut määritelty lopullisesti toteutuksen alkaessa. Tehosteiden kehittämisen prosessin kannalta oli siis tärkeää, että tehosteita pystyi helposti lisäämään järjestelmään.

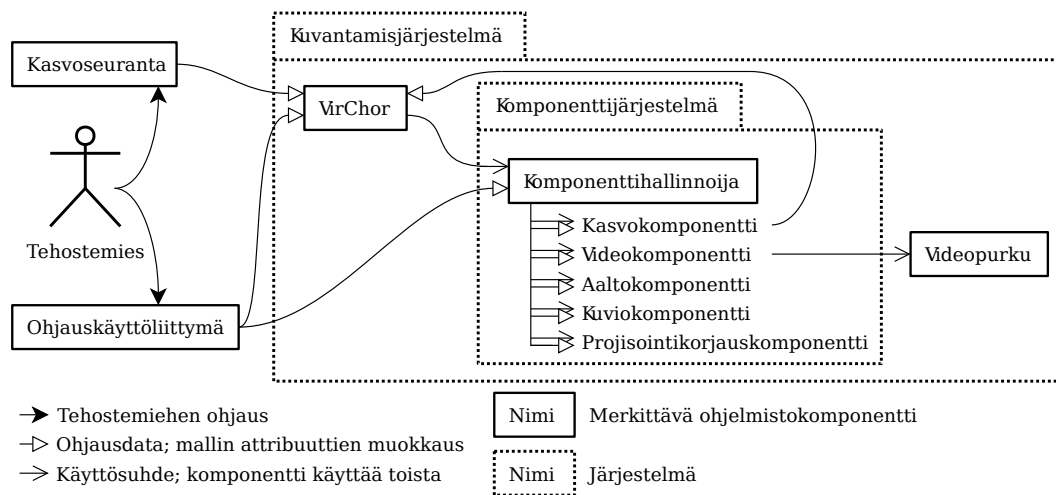
Järjestelmän rajoitukset tulivat esitystilanteesta ja käytettävissä olevan henkilöstön määrästä. Järjestelmän fyysisten osien sijoituksessa tuli huomioida niiden tuotama melutaso, ja järjestelmää oli pystyttävä ohjaamaan yhden henkilön voimin.

Lock & Kember (2006) esittelevät kriittisestä järjestelmistä tuttuja, digitaalisten tehostejärjestelmien luotettavuuden (engl. dependability) lisäämiseen tarkoitettuja keinoja. Näitä keinoja ei automatisoitu tässä produktiossa. Redundanssiin tai monipuolisuuteen ei ollut resursseja. Järjestelmän toimintaa seuraavia ja korjaavia menettelyjä ei toteutettu, koska osaava tehostemies valvoo järjestelmää esityksien aikana.

## 6.2 Arkkitehtuuri

Tässä osiossa selvitetään järjestelmän toteutettu arkkitehtuuri. Kehitystyön aikana arkkitehtuuriin tulleita muutoksia ei ole kuvattu, koska arkkitehtuuri poikkeaa suunnitellusta vain videoiden näyttämisen suhteen ja toteutetut komponentit tarkentuivat vasta kehitystyön aikana.

### 6.2.1 Funktionaaliset osat



Kuva 6.1: Järjestelmän arkkitehtuuri. Nuolet kuvaavat erilaisia käyttö- ja ohjaussuhteita.

Kuvassa 6.1 on esitetty järjestelmän arkkitehtuurin funktionaaliset osat ja niiden

välinen viestitys. Funktionaaliset osat ovat: kuvantamisjärjestelmä, kasvoseuranta ja ohjauskäyttöliittymä.

### **Komponentit**

Kuvantamisjärjestelmän vastuulla on tuottaa esityksen grafiikka ja kuvan anamorfoosi. Vaikka kuvantamisjärjestelmä on selkeä funktionaalinen kokonaisuus, se sisältää arkkitehtuurin kannalta olennaisia pienempiä osia. Nämä osat ovat VirChor, komponenttijärjestelmä ja videopurku.

VirChor toimii alustana, joka antaa komponenttijärjestelmälle piirtokomennot sekä piirtää kasvomallitehosteet. Kaikkien muiden tehosteiden luomiseen VirChor käyttää komponenttijärjestelmää. Teknisesti VirChor toimii alustana, jonka päälle komponenttijärjestelmä on rakennettu itsenäiseksi kokonaisuudeksi.

Komponenttijärjestelmä koostuu komponenttihallinnoijasta ja useammasta sen alaisesta komponentista. Komponenttihallinnoija toimii alustana ja viestinvälittäjänä yksittäisille komponenteille ja tarjoaa yksinkertaisen rajapinnan komponenttien lisäämiseksi. Kukin komponentti toteuttaa jonkin graafisen tehosteen.

Kasvoseurannan vastuulla on erottaa näyttelijän kasvoilta suun asento ja lähettää sitä vastaavat kasvomallin argumentit viesteinä kuvantamisjärjestelmälle. Ohjauskäyttöliittymän tarkoituksena on tarjota tehostemiehelle helppo tapa ohjata graafisia tehosteita. Se lähettää sopivat ohjausviestit kuvantamisjärjestelmälle.

### **Viestitys**

Tehostemies ohjaa järjestelmää kahden graafisen käyttöliittymällä: ohjaus- ja kasvoseuranta-käyttöliittymällä kautta.

Kasvoseuranta lähettää lähettää VirChorille kasvomallien animointiparametrit. Ohjauskäyttöliittymän lähettää komentoja niin VirChorille kuin Komponenttihallinnoijalle. Viestien käsittely on synkronoitu kuvapiirtoon siten, että mallien attribuutit muuttuvat efektiivisesti vasta seuraavan kuvapiirtoon. Viestintä on yksisuuntaista, joten käyttöliittymät eivät voi kysellä muiden järjestelmän komponenttien tiloja.

Ohjauskäyttöliittymän viestit muokkaavat yksittäisten komponenttien attribuutteja, mutta modulaarisuuden ja ajoituksen vuoksi viestit kiertävät komponenttihallinnoijan kautta. Kasvoseurannan, ohjauskäyttöliittymän ja kasvokomponentin VirChorille lähettämässä viesteissä muokataan vain kasvomallien attribuutteja.

Kolmas viestityyppi on käyttökutsu, jolla kutsuja haluaa saada kutsuttavan avulla juuri sen hetkisesti jonkin palautteen tai tehtävän tehtyä. Toteutuksessa nämä ovat funktiokutsuja funktionaalisten osien sisällä. VirChor käyttää funktiokutsuja ohja-

takseen komponenttijärjestelmän valmistautumaan kuvan muodostukseen tai piirtämään kuvan. Komponenttihallinnoija välittää kutsut kullekin komponentille. Videokomponentti käyttää videopurkua saadakseen kuvaan piirrettäväksi yksittäisiä kuvia videotiedostoista.

### 6.2.2 Funktionaalisen arkkitehtuurin perustelut

Arkkitehtuurin suunnittelun lähtökohtien merkittävin tekijä oli VirChorilla toteutetun MARC-kasvomallin käyttäminen luomaan kaksi esityksen avataria. Kasvomallien valintaan johtaneet syyt esitellään toteutettujen komponenttien esittelyn kohdassa 7.2.1. Kasvomallien valinnan aikana selvitettiin ettei VirChor tulisi aiheuttamaan arkkitehtuurin kannalta ongelmia.

VirChor on itsessään tehosteiden esitys- ja kuvantamisjärjestelmä, mutta se ei soveltunut suoraan projektin pääasialliseksi esitysjärjestelmäksi siinä olevien puutteiden vuoksi. VirChorilla tehtyjen tehosteiden takia sen oli kuitenkin jollain tavalla oltava kuvantamisjärjestelmän osana, sillä kahden erillisen ohjelman toteuttaminen olisi rajoittanut tehosteiden yhdistelymahdollisuuksia, hankaloittanut tehosteiden ohjaamista ja tuonut epävarmuustekijöitä ja viiveitä tehosteiden esittämiseen.

Vaihtoehtoina oli siten muokata VirChoria toimimaan muun esitysjärjestelmän osana, tai käyttää VirChoria esitysjärjestelmän alustana. Toteutuksessa päädyttiin jälkimmäiseen ratkaisuun, koska sen arvioitiin olevan helpompaa. MARC-kasvomallin ja VirChorin muokkaaminen lisäosaksi johonkin muuhun esitysjärjestelmään katsottiin olevan työlästä.

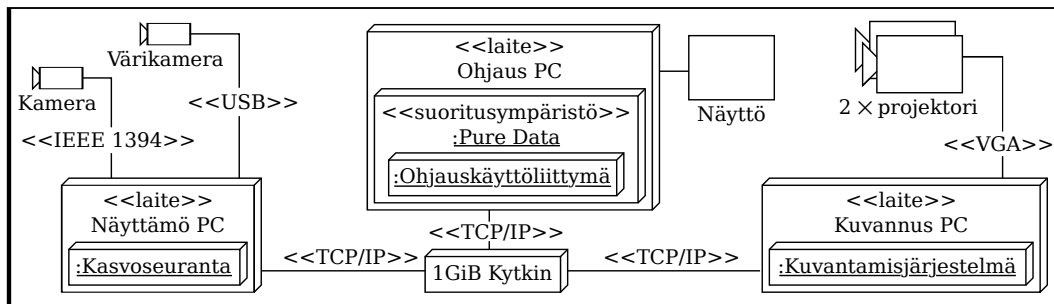
VirChorin käyttö alustana ei katsottu aiheuttavan juuri mitään rajoitteita komponenttijärjestelmälle, sillä komponenttijärjestelmä oli mahdollista toteuttaa hyvin itsenäiseksi järjestelmäksi VirChorin näkymägraafin solmuna.

#### VirChorin puutteet

VirChorin puutteet olivat huono modulaarinen laajennettavuus, ohjausviestien käsittelyn puutteet, vahva tukeutuminen työlääseen XML-pohjaiseen skriptaukseen ja muutama toiminnallinen puute.

VirChorin esittämä maailma on toteutettu näkymägraafina, jonka solmut ovat objekteja. VirChoria on mahdollista laajentaa lisäämällä siihen omia solmuluokkia. Tämä osoittautui kuitenkin työlääksi, koska VirChor ei tarjonnut käytännössä min-käänlaista rajapintaa solmuluokille.

VirChorin viestijärjestelmän lähtökohtana on hyvin samanlainen idea kuin produktion esitysjärjestelmälle haluttiin; esitysjärjestelmän mallia oli tarkoitus ohjata



Kuva 6.2: Fyysiset laitteet ja ohjelmistojen sijoittelu.

erillisestä käyttöliittymästä verkon yli välitettyjen viestien avulla. VirChor ottaa vastaan OSC-protokollan mukaisia viestejä ja suorittaa viestin OSC-osoitetta vastaavan XML-pohjaisen skriptin. Solmuloikkeille ei voi määritellä suoraan viestejä vastaavia toimintoja, vaan kaikki muutokset näkymägraafin solmuille on tehtävä skriptien kautta muuttamalla solmujen attribuuttien arvoja. Skriptien käyttö olisi rajoittanut toteutuksen joustavuutta ja tuonut merkittävästi lisätyötä.

VirChorin OSC-tuki ei sisältänyt niputettuja komentoja (engl. bundled messages), joten tehosteiden yhtäaikainen ajoitus olisi pitänyt toteuttaa skriptien avulla. Viestijärjestelmä myös yhdisti useampia saman osoitteen sisältäviä viestejä yhteen riippumatta niiden parametreista.

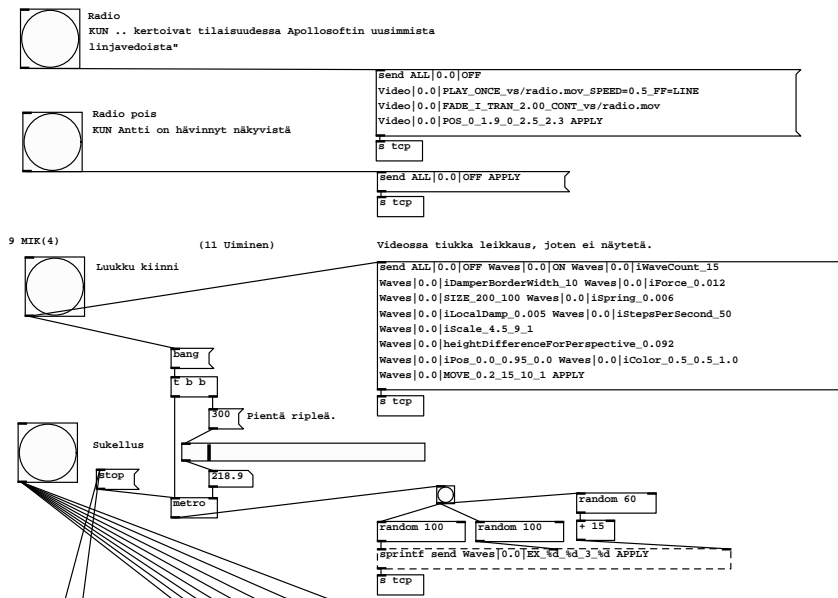
VirChorin videototeutuksella ei voinut näyttää videoita viestillä liipaistuna halutuna hetkenä eikä eri nopeuksilla. Myös nosto ja häivytysominaisuudet puuttuivat.

### 6.2.3 Sijoittelu

Kuvassa 6.2 esitetään, kuinka kolmea funktionaalista kokonaisuutta vastaavat toiminnallisuudet toteutettiin omina ohjelmistoinaan ja ajettiin erillisissä tietokoneissa.

Kuvantamisjärjestelmä käytti molemmat saatavilla olleet kuvaulostulot dataprojektorien ajamiseen, joten ohjauskäyttöliittymä tarvitsi oman koneensa ja näytön. Kuvamateriaali analysoitiin näyttämön lähelle asennetussa tietokoneessa, koska yhteysstandardit rajoittivat kameroiden johdonpituuksia ja viivettä voitiin vähentää lähettämällä vain kasvomallin ohjauskomennot yhteysverkon yli.

Fyysinen jako tuki järjestelmän robustisuutta, vaikka olikin käytännön sanelema. Ohjelmistojen ei tarvinnut jakaa resursseja, ja mahdollisten laitteistovikojen vaikutus olisi ollut rajoitetumpi. Kaikissa koneissa ajettiin 32-bittistä Ubuntu 8.10 -linuxjakelua.



Kuva 6.3: Kuva ohjaukseyttöliittymästä: kohtauksen 8 ja 9 ohjaukseyttöliittymä.

## 6.3 Ohjaukseyttöliittymä

### 6.3.1 Käyttöliittymät

Esityksen aikana oli olennaista, että järjestelmän tehostemies pystyisi helposti ja varmasti ajastamaan tehosteet sopiviin hetkiin. Yhden hengen ohjattavaksi tarkoitettussa järjestelmässä molempia käyttöliittymiä ohjattiin samalla koneella. Kasvoseurannan käyttöliittymää käytettiin ohjaukseyttöliittymästä etänä X11-ikkunoinnilla.

### Ohjaukseyttöliittymä

Järjestelmän pääkäyttöliittymä oli Pure Datalla toteutettu ohjaukseyttöliittymä. Tällä käyttöliittymällä ohjattiin kaikki graafiset tehosteet. Poikkeuksena oli vain kasvoseurannan käyttöliittymä, joka tapahtuu kasvoseurannan toimesta.

Pure Data on avoimen lähdekoodin graafinen ohjelmointiympäristö. Pure Data valittiin käyttöliittymän toteutuslaskelmaksi, koska siitä on hyviä kokemuksia esityksen ohjauksen käyttöliittymän toteutuslaskelmaksi (Attila 2006, Kajastila & Takala 2008, keskustelu Kajastilan kanssa). Sillä saa nopeasti tehtyä graafisen käyttöliittymän, siihen liittyvää logiikkaa ja muokattua ohjaukseyttöliittymästä järjestelmän ollessa käynnissä. Se tarjoaa myös mahdollisuuden käyttää molempia yhteyskäytäntöjä (TCP ja OSC), joita viestien välittämiseen tarvitaan.

Käyttöliittymässä oli listattuna kohtaukset ja niiden aikana tarvittavat liipaisut



kronologisessa järjestyksessä. Kuvassa 6.3 on esitetty osa käyttöliittymästä.

Ohjaukset käyttöliittymä lähettää ohjauksiviestit komponenttihakinnalle paitsi avatarien tekstuurivaihdot, jotka lähetetään VirChorille. Pääosin käyttöliittymä lähettää tehostemiehen valintoja vastaavia, ennalta määritettyjä viestejä, mutta muutamassa tapauksessa käyttöliittymään on ohjelmoitu myös ajastuksia ja logiikkaa. Nämä toiminnallisuudet ovat kuvattu tarkemmin kohdassa 7.2 kunkin kuvantamiskomponentin kohdalla.

### **Kasvoseurannan käyttöliittymä**

Kasvoseurannan käyttöliittymällä ohjattiin vain selkeästi kasvoseurantaan liittyviä asioita. Kasvoseurannan ainoa vaikutus kuvantamisjärjestelmään on kasvomallien ilmeattribuuttien muuttaminen viesteillä VirChorille. Kasvoseurannan käyttöliittymä näyttää tosiaikaista kameran kuvaa, johon on lisätty seurannan eri vaiheiden arvoja. Kuvista pystyy arvioimaan seurannan tarkkuutta ja toimivuutta.

Käyttöliittymästä pystyi helposti valitsemaan kumman näyttelijän seurantatilanteessa ollaan ja asettamaan kuvankäsittelyyn liittyviä attribuutteja. Seurantatilavallinnalla pystyi nopeasti vaihtamaan käytettävien kameroiden ja seuranta-attribuuttijoukkojen välillä. Kuvankäsittelyyn liittyviä attribuutteja ei ollut tarkoitus käyttää näyttösten aikana, vaan ne säädettiin ennen kutakin esitystä kalibroinnin aikana.

#### **6.3.2 Viestitys**

Ohjaukset käyttöliittymän viestitys on toteutettu omalla protokollalla TCP-yhteyden yli. Kussakin viestissä on määritetty mille kuvannuskomponentille viesti on tarkoitettu, liipaisuviive ja komponenttikohtainen komento.

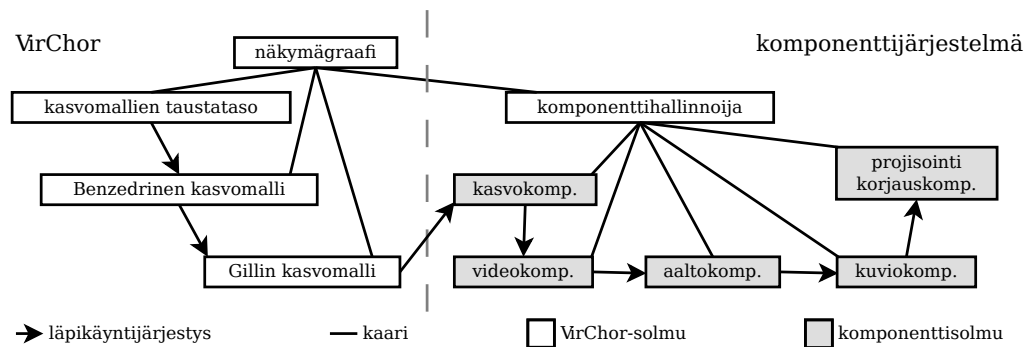
Komponenttihakinnon puolella viestit kerätään puskuriin, kunnes vastaanotetaan aktivointiviesti. Näin useammasta viestistä voidaan koostaa yhtä aikaa suoritettavia viestijoukkoja. Aktivoidut viestit siirretään odotuspuskuriin, josta niitä suoritetaan liipaisuviiveen jälkeen varmistaen, että samalla liipaisuviiveellä varustetut komennot ajetaan tulojärjestyksessä piirron suhteen jakamattomana kokonaisuutena.

Suoritettaessa viestiä komponenttihakinnat lähettää komennon kohdekomponentille. Komponenttihakinnat määritteli yhden yleisen kohdekomponentin nimen, jota käyttäen komennot lähetetään jokaiselle komponentille. Lisäksi komponenttirajapinta määritteli näytä sekä piilotus-komennot. Muuten komponenteille määriteltiin omat kohdenimensä ja komentonsa.

## 6.4 Kuvantamisjärjestelmä

Tässä osiossa kerrotaan miten kuva muodostuu kuvantamisjärjestelmän osien yhteistyönä. Kuten kohdassa 6.2.1 esitetään, kuvantamisjärjestelmä koostuu VirChorista ja komponenttijärjestelmästä, joka on toteutettu omana solmuna VirChorin näkymägraafiin.

Komponenttijärjestelmä on toteutettu lisälähdekoodina VirChorin omaan koodikantaan, joten se käännetään VirChorin kanssa samaan ohjelmaan. Komponenttijärjestelmälle ei ole omaa säiettä, vaan sen koodi ajetaan osana VirChorin näkymägraafin läpikäyntiä. Poikkeuksena on videopurku, joka käynnistää jokaista videota kohden yhden säikeen purkamaan videovirtaa kuviksi.



Kuva 6.4: Näkömägraafi sekä läpikäyntijärjestys eli piirto- ja päivitysjärjestys.

Kuvassa 6.4 esitetään VirChorin ja komponenttijärjestelmän yhdessä muodostama näkömägraafi sekä kuvan muodostumisen kutsumisjärjestys. Kutsumisjärjestyksen osoittavat nuolet eivät kuvaa kutsujaa vaan vain järjestyksen. Komponenttisolmut ovat komponenttihakintoijan alaisuudessa olevat komponentit.

Komponenttijärjestelmän komponentit kuuluvat näkömägraafiin vain konseptuaalisesti. Käytännön toteutuksessa komponentit ja muut solmut eroavat siten, että VirChorin näkyvyys graafissa loppuu komponenttihakintoijaan. Komponenttihakintoija hoitaa päivitys- ja piirtokutsut komponenteille silloin kun se itse saa vastaavat kutsut.

VirChorin kuvantamiskierros koostuu päivitys- ja piirtovuoroista. Molemmissa vuoroissa näkömägraafin solmut käydään läpi syvyys-ensin järjestyksessä. Päivitysvuorolla mallien piirtoa valmistellaan muuttuneita attribuutteja vastaavaksi ja esimerkiksi rajoituslaatikot päivitetään. Jokaisella solmulla on näkyvyysattribuutti, joka kertoo käydäänkö niissä graafin läpikäynnin aikana.

### 6.4.1 Päivitysvuoro

Päivityskierroksella VirChor-solmujen osalta päivitetään vain kasvoniilmeparametrit grafiikkakortin muistiin. Komponenttihallinnoija suorittaa päivityskierroksen aikana ensin viestien käsittelyn. Sen jälkeen hallinnoija välittää kaikki liipaisuviivejonossa lauennut viestit komponenteille. Lopuksi kaikille komponenteille kutsutaan päivitysmetodia. Kukin komponentti määrittelee itse mitä päivitysmetodi tekee.

### 6.4.2 Piirtovuoro

VirChor antaa käyttöön tyhjennetyn OpenGL:n näyttöpuskurin takapuskurin ennen piirtovuoroa ja siirtää takapuskurin näkyville piirtovuoron päätteeksi. VirChorissa ei solmujen välille muodosteta mitään OpenGL:n tilan suhteita, joten jokainen solmu määrittelee kokonaan oman tilansa.

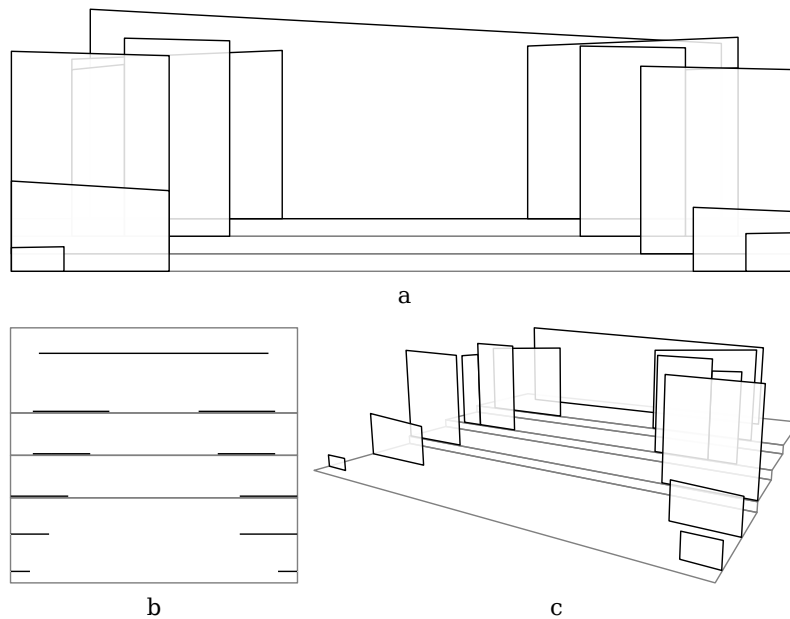
Yleensä näkymägraafia käytetään jakamaan piirrettävä malli osamalleihin, joilla on jonkinlainen tilallinen suhde. Tämän jälkeen voidaan näkymägraafin avulla rajoittaa piirrettävien mallien joukko vain lopullisessa kuvassa näkyviin tai muuttaa esimerkiksi piirtojärjestys OpenGL:n kannalta nopeammaksi. VirChorissa näkymägraafia käytetään kuitenkin vain takaamaan tietty kutsujärjestys.

Kuvantamisjärjestelmä muodostaa piirtokierroksella vain yhden kuvan, joka kattaa koko lavastuksen. Ensin VirChor piirtää kasvomallin takapuskuriin. Sen jälkeen komponenttijärjestelmän komponentit saavat ajovuoron peräjälkeen. Järjestys on aina sama, mutta näkyvyysattribuutin perusteella jätetään ajamatta ne, jotka ovat pois päältä.

Jokainen komponentti voi käsitellä takapuskuria haluamallaan tavalla. Osa komponenteista muokkaa takapuskurin kuvaa, mutta osa vain piirtää kuvaan lisää grafiikkaa. Ratkaisu mahdollistaa kuvan muokkaamisen hyvinkin erilaisilla tavoilla piirron aikana.

Komponenttihallinnoija asettaa OpenGL:n projektioksi orthogonaalisen projektion, jonka tilavuus kattaa näyttämön. Vaikka komponentit säilyttävät tämän projektiomatriisin kutsujensa yli, osa komponenteista käyttää erilaista projektiota omassa piirroksaan.

Komponenttien piirron voi ajatella toistensa päällä olevina tasoina, koska komponenteissa ei käytetä aikaisempien solmujen piirtämää syvyyspuskuria. Mikään ei sinällään estäisi tätä, mutta sitä ei tarvittu.



Kuva 6.5: Fyysinen lavastus; a) kaaviokuva näyttämöstä edestä (9m × 3m); b) kaaviokuva näyttämöstä ylhäältä (9m × 8m); c) perspektiivikuva

## 6.5 Projisointi

Tässä osiossa esitellään miten lavastuksen projisointi on toteutettu. Ensin kuvaillaan fyysinen ympäristö ja fyysinen lavastus sekä virtuaalisen lavastuksen suhde fyysiseen lavastukseen. Sen jälkeen kuvaillaan projektorien sijoittelu. Lopuksi kuvaillaan miten kuva muokataan projisointiin sopivaksi.

### 6.5.1 Fyysinen ympäristö

Lavastajien suunnittelema ja toteuttama fyysinen lavastus on esitetty kuvassa 6.5. Fyysisenä lavastuksena oli ainoastaan projisointipinnoiksi tarkoitettuja paneeleita. Näyttöpinnat muodostuivat suorissa riveissä vieri vieressä olevista 60 cm leveistä paloista, jotka koostuivat puukehikkoon pingoitusta valkoisesti kankaasta. Näyttöpintojen reunat olivat pystysuorat, mutta yläreuna vietti hieman.

Rivien 3 – 5 näyttöpinnat toteutettiin korkeudeltaan noin kaksimetrisiksi, jotta näyttelijät voisivat olla niiden takana piilossa. Kuudes eli taaimmaisina näyttöpinnat toimii näyttämön takaseinänä ja on lähes koko näyttämön levyinen. Muissa riveissä näyttöpinnat ovat näyttämön reunoilla, jotta näyttämön keskelle muodostuu laajempi esiintymistila.

Esitykset pidettiin kahdessa eri tilassa. Toinen oli Espoossa suurjännitelaborato-

riona toimiva suuri halli ja toinen oli Helsingissä kulttuurikeskus Stoassa. Molemmissa tiloissa käytettiin samaa lavaa esitykseen. Molemmissa tiloissa oli katsomon takana hieman ylempänä erillinen tarkkaamuhuone, josta oli ikkunat esitystilaan.

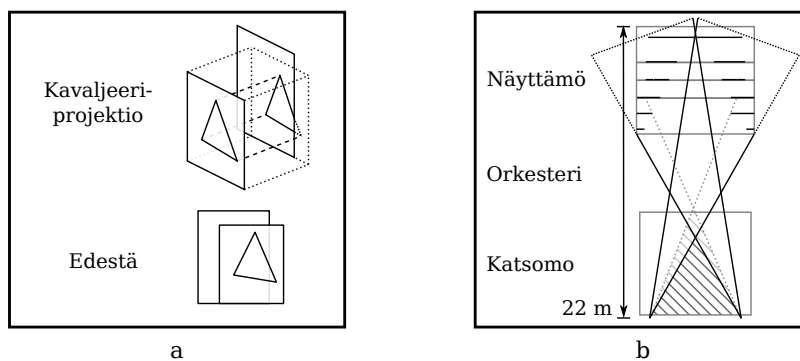
### 6.5.2 Kuvallinen tavoite

Digitaalilavastuksen projisoinnissa kuhunkin näyttöpintaan projisoitiin osa muodostetusta kuvasta. Näyttöpinnat eivät sinällään olleet itsenäisiä näyttöjä, vaan toistivat yhden kokonaisen kuvan osia. Kuva kopioituu kaikkiin näyttämön syvyys suunnassa peräkkäisiin paneeleihin samanlaisena.

Kuvassa 6.6a on esitetty miten virtuaalilavastuksen kuvat suhtautuivat näyttämön peräkkäisiin paneeleihin. Katkoviivat ovat yhdensuuntaisia näyttämön syvyys suunnan kanssa. Tähän ratkaisuun päädyttiin, koska se luo intuitiivisesti ymmärrettävän ja helpon referenssin kuvaan piirretylle grafiikalle.

Vaihtoehtoisesti mietittiin mahdollisuutta laskea projektiokuvaus siten, että katsomon yhdestä pisteestä näyttämö näyttäisi vain yhdeltä kuvalta. Tällöin paneelien avaruudellisten suhteiden havainnoinnin heikkeneminen olisi voinut latistaa näkymän tästä pisteestä katsottaessa. Muista kuin edellä mainitusta pisteestä kuva olisi näyttänyt myös enemmän vääristyneeltä kuin valitussa ratkaisussa. Toteutuksessa heijastettu kuva ei näkynyt mistään kohdasta täysin eheänä, mutta näkyi suuremmalle määrälle katsojia vähemmän vääristyneenä.

Vaikka toteutus oli orthogonaaliprojektion mukainen, ei toteutus estänyt perspektiivikuvauksella toteutettuja tehosteita; perspektiivilaskenta oli vain tehtävä kuvaan ennakoita. Komponenttijärjestelmän kuvanmuodostus rajoitti projisointia siten, ettei sillä voinut piirtää yksittäiseen näyttöpintaan grafiikkaa, joka ei olisi tullut myös sen edessä ja takana oleviin paneeleihin.



Kuva 6.6: Toteutettu projisointi: a) kuvallinen tavoite; b) projektorien asettelu; viivoitettu alueella katsojat eivät nähneet projisoimatonta näyttöpintaa.

### 6.5.3 Projektorit ja niiden sijoittelu

Projisoinnilla määritetyt vaatimuksena oli mahdollisimman eheä kuvakokonaisuus kohtuullisella erottelutarkkuudella. Eheän kuvakokonaisuuden saamiseksi piti näyttöpintoihin osuvien varjojen määrä minimoida.

Parallaksi-ilmiön takia katsomon laidoilla istuneet katsojat näkivät näyttöpaneeleista laajoja osia, jotka olivat edestä katsottuna toisten näyttöpintojen takana. Mikäli kuva olisi heijastettu vain suoraan edestä, olisi osa katsojien näkemistä paneeleista jääneet edellä olevan näyttöpinnan varjostuksen takia tyhjiksi. Virtuaalilavastuksen kuvan eheys katsojan kannalta olisi kärsinyt tästä voimakkaasti.

Taustaprojisointia ei voitu käyttää tilarajoitteiden ja näyttöpaneelien nousevan profiilin takia. Ensimmäisen esityspaikassa oli myös mahdotonta kiinnittää projektoreita kattoon siihen soveltuvien telineiden puuttuessa. Varjostusongelmaa ei siis voitu poistaa laittamalla projisointi tulemaan niin ylhäältä, etteivät näyttöpinnat varjostaisi toisiaan. Näin vain edestä käsin tehty projisointi oli mahdollista.

Näyttöpintojen taaksensa jättämät varjot minimoitiin sijoittamalla kaksi projektoria näyttämön takana oleviin tarkkaamoihin näyttämön keskiviivasta sivulle, ja suuntaamalla ne valaisemaan vastakkaisten puolten lavasteet. Projektorien sijoittelu on esitetty kuvassa 6.6b. Kuvan mitat ovat jälkimmäisestä esityspaikasta, mutta myös ensimmäisessä ne olivat hyvin samankaltaiset.

Ratkaisulla ei päästy kaikesta varjostamisesta eroon. Projektorit sijaitsivat katsojien tason yläpuolella, joten katsojien korkeudesta johtuva parallaksi ei tuonut missään kohtaa esille varjoja. Näin vain istuimen sivusuunta keskiviivasta vaikutti varjojen muodostumiseen. Projektorien kiilojen väliin muodostui alue, jossa katsojat eivät nähneet näyttöpinnosta muodostuvia varjoja. Kuvassa 6.6b tämä on esitetty viivoituksella. Haaleampi viivoitus kuvaa varjotonta aluetta, joka muodostui, koska ensimmäisen näyttöpaneelirivi ei aiheuttanut varjoja mataluuden takia.

Laitteiden sijoittaminen tarkkaamoon toi myös synergiaetuna äänieristetyn tilan. Kahden projektorin käyttö taas toi lisää valotehoa.

Kuva useammalle projektorille tuotettiin käyttäen NVidian TwinView-toimintoa (Nvidia 2000). Toiminnon avulla näyttöresoluutiona käytettiin  $2048 \times 768$ , ja kuvan puolet heijastettiin erillisillä projektoreilla. Muita harkittuja menetelmiä olivat videojakajan käyttö, Chromium-järjestelmä ja kuvantamisjärjestelmän ajaminen useammassa koneessa. Muiden menetelmien heikkouksiksi arvioitiin: videojakajaan ei olisi saatu tuotettua riittävää resoluutiota useamman projisoinnin esittämiseen, videotekstuuriin esittäminen Chromium-järjestelmällä oli epävarmaa vaadittavan kais-tanlevyyden takia ja useamman kuvantamisjärjestelmän toteutuksessa ajoittaminen

olisi tuonut lisävaivaa.

Projektorien valoteho oli luokkaa 10 000 ANSI-lumena, resoluutio 1024x768 ja avauskulma 20,7°. Projisointipintoja oli 16 – 22 metrin etäisyydellä projektorista.

#### 6.5.4 Anamorfoosi

Kohdassa 6.5.3 esitetyn projektorien sijoittelun vuoksi ne olivat vinossa asennossa projisointitasoihin nähden. Aiheutunut kuvan vääristymä ja teksturoinnin sijoittaminen kuhunkin näyttöpintaan toteutettiin anamorfisesti kuvapohjaisella homografiateksturoinnilla, joka on esitelty kohdassa 3.2.6.

Homografiateksturointi lasketaan erikseen kullekin näyttöpinnalle. Näin saadaan sijoitettua tekstuuri tarkasti näyttöpintaan, ja mahdolliset pienten linssivääristymien vaikutus minimoitua. Anamorfoosi on toteutettu projisointikorjauskomponentissa.

Lavastuksen kokonaisen 3d-mallin piirtämiseen verrattuna homografiaratkaisun etuna nähtiin yksinkertaisempi kalibrointiprosessi sekä yksittäisten näyttöpintojen tarkka ja intuitiivinen manuaalinen asemointi.

#### Projisointikomponentti

Projisointikomponentti muodosti yhtenäisestä lavastuskuvasta anamorfoosilla korjatun kuvan. Komponentti sai ajovuoron kuvannuskierroksen viimeisenä komponenttina (ks. kuva 6.4). Ajovuorollaan projisointikomponentti kopioi ensin aikaisemmin muodostetun virtuaalilavastuksen kuvan takapuskurista tekstuuriksi (myöhemmin lavastustekstuuri). Sitten komponentti tyhjentää takapuskurin, ja piirtää siihen fyysisiä paneeleita vastaavat alueet käyttäen teksturoinnissa lavastustekstuurin osia.

#### Malli

Kuvallisen tavoitteen saavuttamiseksi näyttöpaneeleista luotiin malli. Malli koostui listasta näyttöpintojen malleja, joista kukin vastaa aina yhtä fyysistä näyttöpintaa. Mallissa oli määritelty paneelien fyysinen sijainti näyttöpintojen kulmapisteiden koordinaatteina.

Fyysisen sijainnin lisäksi mallissa oli määritelty kulmapisteitä vastaavat projektorin kuvakoordinaatit. Kuvakoordinaatit kertovat mihin kohtaan kukin näyttöpinnan malli tulee piirtää projisoitavaan kuvaan, jotta se osuisi oikein fyysiseen näyttöpintaan. Kulmapisteiden kuvakoordinaatit määriteltiin erillisellä kalibrointiohjelmalla. Ohjelman avulla kaikkien näyttöpinnan mallien kulmapisteitä voitiin siirtää hiirellä kunnes näyttöpinnan mallin piirto oli yhtenevä fyysisen mallin kanssa. Ohjelmaa ajettiin samalla laitteistolla ja asettelulla kuin kuvantamisjärjestelmääkin.

### **Tekstuurivalinta**

Kohdassa 6.5.2 esitetty kuvallinen tavoite toteutettiin valitsemalla kunkin paneelin teksturoinniksi osa lavastustekstuurista. Käytetty tekstuurialue selvitetiin näyttöpaneelimallista huomioiden vain niiden fyysisten kulmapisteiden x- ja y-koordinaatit.

Käytettävät tekstuurikoordinaatit laskettiin suhteuttamalla mallin fyysisten kulmapisteiden koordinaatit näyttämön koordinaattien ääriarvoihin. Lavastustekstuuri laskettiin kattamaan näyttämön alue leveys- ja korkeussuunnassa. Paneelin syvyys-sijainti jätettiin huomioimatta, jolloin fyysisten näyttöpintojen peräkkäiset alueet teksturoitiin samalla kohdalla lavastustekstuuria.

### **Homografian laskeminen**

Homografia laskettiin OpenCV-kirjaston (OpenCV 2008) cvFindHomography-metodin avulla. Saadusta homogafiasta muodostettiin projektiomatriisi kaavan 3.10 mukaisesti.

### **Projisointivarjostus ja -peitto**

Näyttöpinnat varjostivat toisiaan huolimatta projektoreiden asettelusta. Taaempänä olevien paneelien heijastukset olisivat voineet näin osua edempänä oleviin paneelihin. Tämä oli otettava huomioon piirrettäessä näyttöpintojen malleja projisoitavaan kuvaan.

Projisointikomponentti käytti näyttöpintojen malleille määriteltyjä fyysisiä syvyystietoja ja syvyyspuskuria takaamaan paneelien järjestyksen. Syvyystiedot eivät suhteutuneet tarkalleen oikein projektioon projektorien ollessa vinosti tasoja kohden, mutta virhe oli kuitenkin niin pieni, ettei se sotkenut näyttöpintojen suhteellista järjestystä.

### **Kankaat**

Stoassa katsomo oli korkeampi kuin mihin lavastajat olivat varautuneet. Katsomon yläpäässä katsojat saattoivat nähdä liikaa lavasteiden taakse. Ongelma korjattiin lisäämällä etummaisten korkeiden näyttöpintojen (rivi 3) yläreunasta kattoon asti ylettyvät kankaat. Tähän kangasosaan ei oltu varauduttu projisoimaan grafiikkaa, joten niihin päätettiin olla projisoimatta mitään. Nämä uudet ”näyttöpinnat” oli kuitenkin lisättävä malliin, koska ne peittivät takanaan olevia paneeleita projektorien näkökulmasta.



## 6.6 Kasvojen seuranta

Tässä osiossa esitellään tarkemmin järjestelmän osa, joka vastaa kasvoseurannasta. Ensin käsitellään kasvoseurannalle määritellyt vaatimukset ja tavoitteet. Sen jälkeen kuvaillaan toteutuksen laitteisto ja ohjelmisto sekä perusteet niiden valinnalle.

### 6.6.1 Vaatimukset

Tavoitteena oli luoda virtuaalinen pää, joka laulaisi näyttelijän tahdissa. Virtuaalipäitä oli kaksi kappaletta, joita ohjasi eri näyttelijät. Niitä ei kuitenkaan näytetty yhtä aikaa vaan ne esiintyvät täysin erillisissä kohtauksissa. Kasvoseurannan tehtävänä oli näytteistää näyttelijän kasvojen ilme ja lähettää kasvomallille ilmettä vastaavat parametrit.

Toiminnalliset vaatimukset kasvoseurannalle olivat mahdollisuus seurata vähintään suun avautumista kahdella eri näyttelijällä. Toissijaisesti, mikäli aikaa on, ajateltiin myös kokeilla suun leveyden etsimistä.

Seurannan tosiaikaisuus ja esitystilanne toivat monia laadullisia vaatimuksia. Laulun kopioiminen näyttelijältä merkitsee, että kasvoseurannan oli näytteistettävä suu tarpeeksi tiheästi, luotettavasti ja pienellä viipeellä.

Tavoitteena oli mahdollistaa näyttelijälle mahdollisimman luontainen laulaminen, ja täten siis mahdollisimman laaja liikkumavara seurattavalle näyttelijälle pään ja kasvojen osalta. Näyttelijä liikkuu aina hieman laulaessaan, ja hänen sijaintinsa voi olla eri kuin kalibrointitilanteessa. Järjestelmän oli kyettävä selviämään tästä, jotta seuranta olisi luotettavaa.

Virtuaalipäät ja kasvoseuranta olivat osa dynaamista esitystä, minkä takia kasvoseurannan alustus ei saanut kestää kovin kauaa siitä, kun näyttelijä oli valmis aloittamaan virtuaalipään ohjaamisen laulamalla. Myöskään kasvoseurannan epäonnistuminen ei saanut johtaa kovin pitkään toimimattomaan aikaan.

### 6.6.2 Rajoitteet ja mahdollisuudet

Kasvoseurannan toteutukselle oli kaksi merkittävää rajoitetta. Ensimmäinen oli se, ettei taiteellinen puoli hyväksynyt seurattavan näyttelijän kasvoille mitään erillisiä markkereita.

Toinen rajoite määräytyi siitä, että yleisön tuli itse voida huomata ja todentaa, että virtuaalipää laulaa näyttelijän kanssa tahdissa. Niinpä seurattavan näyttelijän tuli olla näyttämöllä siten, että yleisö pystyy näkemään hänen kasvonsa. Taiteellisen puolen tavoitteena oli saada seurantatilanne sujahtamaan normaaliin tilanteeseen.

seen näyttämöllä. Tästä kuitenkin oltiin valmiita joustamaan, koska virtuaalipäät määriteltiin esityksen kannalta olennaisiksi projektin alkuvaiheessa.

Yleiseen kasvotunnistukseen ja seuraamiseen verrattuna produktiossa voitiin seuranta-tilanne ja -olosuhteet määritellä varsin vapaasti. Olosuhteet olivat myös hyvin toistettavissa kontrolloidun ympäristön vuoksi; Näyttelijöiden sijainnit, valaistus, kasvojen meikki ja vaatetus olivat kaikki mahdollista määritellä ja toistaa likimain samanlaisina esityksestä toiseen.

### 6.6.3 Kameranat

Seuranta päätettiin toteuttaa kamerapohjaisella seurannalla, jossa näyttelijöiden kasvojen piirteitä voimistettiin meikkauksella. Kameraseurantaan päädyttiin, koska esisuunnitelmissa tavoitteena oli toistaa myös kasvojen ilmeitä. Äänianalyysiin perustuvat suun animointimenetelmät eivät olisi mahdollistaneet ilmeiden seuraamista.

Kameraseurantaan helpottamaan päätettiin muokata esityksen koreografiaa ja kameroiden sijoitusta siten, ettei kameran kuvassa näkynyt kuin seurattavan kasvot, eikä virtuaalilavasteiden projisointi osunut seurattaville kasvoille. Näyttelijät ohjattiin katsomaan kameraa aina samasta paikasta ja kulmasta.

Toinen kamera sijoitettiin mikrofonipidikkeeseen näyttämön eteen hieman vasemmalle näyttämön keskikohdasta. Näyttelijän kasvoja valaistiin seurannan aikana spotivalolla suoraan edestä tasaisen valaistuksen aikaansaamiseksi.

Toinen kamera kiinnitettiin levyyn, joka oli kiinni kolmijalkaisessa telineessä. Yhdessä nämä muodostivat ”dekoodauslaitteen”, joka oli rekvisiittana seurannan aikaisessa kohtauksessa. Laite tuotiin kohtauksen aikana näyttämölle merkittävään kohtaan ja kytkettiin johtoon. Laitteessa oli joukko ledivalaisimia, jotka valaisivat näyttelijän kasvoja seurannan aikana.

Kameroiden valinnassa painotettiin manuaalisia säätöjä, kuvan laatua ja kuvan välityksen viiveettömyyttä. Manuaalisten säätöjen avulla esitykseen tehty kalibrointi olisi tarkasti toistettavissa esityksessä. Kuvan laadun arvioinnissa kriteereinä pidettiin erotustarkkuuden lisäksi liikkuvien kohteiden pysyminen terävinä ja vääristymättöminä.

Benzedrinin Penthousen hahmolla oli suurikontrastinen meikki, joten hänen seuraamiseensa käytettiin mustavalkokameraa. Kamera oli Unibrain Fire-i BBW 1.3, joka on IEEE-1394 - DC standardin mukainen 640×480 erotustarkkuuden 30 kuvaa sekunnissa välittävä kamera.

Gillin hahmolle käytettiin värikameraa, koska taiteellinen vaikutelma kasvoista piti olla pehmeä. Tällöin värisävyn erotuksen katsottiin toimivan paremmin kuin pelkän

kontrastin. Gillin näyttelijä meikattiin takaamaan tarpeeksi suuri väriero.

Kamerana oli tarkoitus käyttää Unibrain:in  $640 \times 480$  RGB kameraa, mutta se hajosi hieman ennen esi-iltaa. DV-kameraa IEEE-1394 liitännällä harkittiin, mutta siinä pakkaus tuo ylimääräistä viivettä kuvaan. Korvaavana kamerana käytettiin Philips SPC 900NC kameraa, joka on USB-liitäntäinen  $640 \times 480$  erotustarkkuuksinen kamera. Käytetyillä ohjelmistokirjastoilla kamerasta ei saatu kuin noin 12 kuvaa sekunnissa. Kuvamuotona oli YCbCr, jossa väri-komponentit saatiin neljäsosan erottelutarkkuudella ( $320 \times 240$ ).

Kameroiden helppoa ohjelmallista käyttöä varten luotiin ohjelmistokomponentti, jolla erilaisten kameroiden käyttö sujuu helposti. Pohjana käytetään Unicap-kirjastoa (unicap 2008), jonka päälle on luotu C++-kääreluokat vielä yksinkertaisemman rajapinnan aikaansaamiseksi.

Kuvien vastaanottajaksi toteutettiin kaksoispuskuri, joka takaa aina uusimman kuvan saamisen analysoitavaksi pienellä viiveellä. Puskuri koostuu kahdesta kuvasta, joista toinen on analysoitavana ja toiseen kopioidaan aina uusin vastaanotettu kuva. Analysoinnin valmistuessa puskurien kuvien käyttötarkoitus vaihdetaan, jolloin uusin vastaanotettu kuva analysoidaan.

Toinen ajateltu vaihtoehto kuvakäsittelylle olisi ollut odottaa analyysiin seuraava kameralta tuleva kuva. Tämä olisi minimoinut viiveen, mutta voinut aiheuttaa harvemman näytteistystaajuuden.

#### 6.6.4 Seuranta-algoritmi

Seurannan ohjelmistokomponenttia suunniteltaessa selvitettiin vaihtoehtoisia toteutustapoja ja mahdollisuuksia käyttää valmiita kirjastoja. Seuranta varten selvitettiin kasvoja seuraavia ja niiden ilmeinformaatiota antavia vaihtoehtoja, jotka toimivat tosiaikaisesti. Valmiita suoraan käytettäviä kirjastoja ei löytynyt; osa tutkituista järjestelmistä antoi vain kehon sijainnin ja/tai orientaation (Infomus EyesWeb Project), osa antoi vain kasvojen sijainnin (OpenCV, FreeTrack), osa antoi vain tunneinformaatiota (VicarVision FaceReader, Noldus FaceReader), osa oli liian kallista ostettavaksi (Visage Technologies, Seeing Machines FaceApi) ja osa ei selvinnyt tosiaikaisuuden vaatimuksesta (Zign Track, Luxand FaceSDK). Toteutustavoista arvioitiin Martin ynnä muiden (2005) esittelemää menetelmää, mutta sen ongelmaksi olisi muodostunut piirrepiSTEIDEN löytyminen mahdollisessa uudelleen alustuksessa.

Sopivan valmiin toteutuksen puuttuessa päätettiin toteuttaa itse mahdollisimman yksinkertainen seuranta-algoritmi. Seuranta-algoritmin tavoitteena oli näytteistää huulien välinen etäisyys korkeussuunnassa tosiaikaisesti kuvasarjasta.

Kuville voitiin asettaa laatuvaatimuksia, jotka helpottivat algoritmin toimintaa. Kontrolloidun valaistuksen lisäksi kuvalle asetettiin rajoitukseksi, että siinä sai näkyä korkeintaan yhdet kasvot ja kasvojen oli oltava kameraa kohden. Seurannan piti kuitenkin selviytyä laulamisen aiheuttamasta kohtuullisesta pään kääntyilystä, sekä alustaa itsensä automaattisesti mahdollisimman nopeasti, jos se hävitti kasvot ja kuvan tilanne palautui vaatimusten mukaiseksi.

Seuranta-algoritmin teossa oli tavoitteena käyttää mahdollisimman paljon valmiita kirjastokomponentteja. Seuranta-algoritmista toteutettiin kaksi versiota. Jälkimmäisessä toteutuksessa korjattiin ensimmäisen toteutuksen käytössä havaitut ongelmat.

### 6.6.5 Lähtökohtainen idea

Tässä alaosiossa kuvaillaan lähtökohtainen idea, minkä perusteella ensimmäinen versio seuranta-algoritmista toteutettiin. Alkuperäisenä ideana oli toteuttaa varsin suoraviivainen, yksinkertaisista askeleista muodostuva seuranta. Idea perustui kahteen artikkeliin: Martin ym. (2005) ja Sobottka & Pitas (1996).

Idean vahvuutena nähtiin mahdollisuus pieneen viipeeseen seurannassa, sekä ilmeestä riippumaton nopea alustus. Nopea alustus mahdollistaa seurannan robustisuuden, kun seurannan virheistä voidaan selvittää kesken esityksen. Seuranta oli vain yksi osa kokonaisjärjestelmää, jolloin myös ajankäytölliset rajoitteet estivät monimutkaisempien seurantojen toteutuksen.

#### Alustus

Kasvojen seuranta aloitettaisiin kasvojen paikallistamisella käyttäen kuvapohjaista menetelmää, kuten Martin ym. (2005) tekivät. Näin muiden kuvassa näkyvien asioiden vaikutus seurantaan voitaisiin minimoida.

Puhtaasti kuvapohjaiseen kasvojen paikallistamiseen perustuva ratkaisu arvioitiin ja mitattiin alustavissa testeissä kuitenkin liian hitaaksi, joten kasvojen paikallistamisen jälkeen siirryttäisiin erilaiseen kevyempään tosiaikaiseen seurantaan. Tosiaikaisessa seurannassa käytettäisiin piirrepohjaista tekniikkaa.

#### Tosiaikainen sierainseuranta

Tosiaikaisen seurannan kiinnepisteeksi valittiin sieraimet, koska ne ovat kasvoja kuvattaessa koko ajan näkyvillä, muuttuvat vähän, ja ovat lähellä suun seurannan aluetta. Reaaliaikainen sierainhaku alustettaisiin etsimällä kasvohaun tuloksen alueelta sieraimet kuvan valoisuuden minimiä hyväksi käyttäen (Sobottka & Pitas 1996, s.237).

Uudesta kuvasta etsittäisiin sieraimet alueelta, joka on suhteutettu edelliseen sierainten löytökohtaan ja sierainten etäisyyteen toisistaan. Etsintäalue rajattaisiin niin, että kasvojen kohtuullisen pienellä liikkeellä tausta, silmät ja suu osuisivat siihen hyvin rajoitetusti.

### Huulten etsiminen

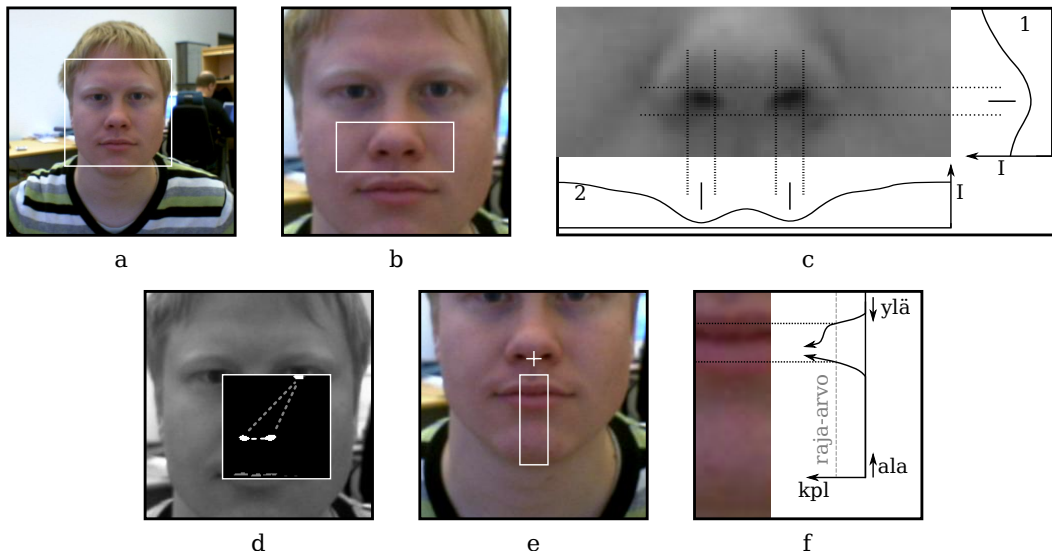
Suun aukeamisen mittariksi valittiin huulet, jotka voitiin meikata erottumaan selkeästi sierainten alapuolinen osa segmentoitaisiin kynnystämällä kuva minimi- ja maksimiarvoilla. Värikuvassa käytettäisiin HSV-arvoja ja mustavalkoisessa vain valoisuuskomponenttia.

Suusta seuratut mitat suhteellistettiin pään kokoon, jotta näyttelijän muuttuva etäisyys suhteessa kameraan ei vaikuttaisi tulokseen.

#### 6.6.6 Ensimmäinen toteutus

Kuvassa 6.7 on esitetty ensimmäisen toteutuksen toimintaperiaate. Toteutuksen kohdat esitetään alla tarkemmin.

Kasvojen haku toteutettiin OpenCV-kirjaston valmiilla kasvoetsintätoteutuksella



Kuva 6.7: Seuranta-algoritmin toimintaperiaate; a) kasvoalue OpenCV:llä; b) sierainten etsintäalue kasvoalueessa; c) sierainten etsintä intensiteettiminimeillä; d) reaaliaikaisen sieraintenseurannan segmentointi ja paritestausta — harmaat segmentit ja parit (katkoviivat) ovat hylättyjä; e) huulten etsintäalue suhteessa sieraimiin; f) huulten reunan haku kertymäfunktion raja-arvoilla

samoin kuten Martin ym. (2005) tekivät. OpenCV-kirjaston kasvonetsinnän toteutus perustuu Lienhart & Maydt:in (2002) esittelemään menetelmään.

OpenCV:n kasvoetsinnän tuloksena oli kasvoja ympäröivän neliön koordinaatit, joita vastaava neliö on esitetty kuvassa 6.7a.

### Sierainhaku

Sierainseuranta alustettiin hakemalla kasvoneliön keskeltä kapealta alueelta valoisuuden minimi kahdella askeleella. Hakualue oli suhteutettu kasvoneliöön siten, että sen alaosa jää huulten ja sierainten väliin, jotteivät huulet (Benzedrinellä on tummat huulet) vaikuttaisi sierainten paikallistamiseen. Hakualueen sijainti kasvoneliön suhteen on esitetty kuvassa 6.7b.

Ensin hakualueelle tehtiin vertikaalinen haku, jolla saadaan tietää sierainten korkeussijainti. Hakualueesta laskettiin jokaisen rivin valoisuussumma. Tuloksena oli käyrä, josta pystyi päättämään tummimman rivin (Sobottka & Pitas 1996). Hakutarkkuutta parannettiin keskiarvoistamalla saatu käyrä oletetulla sierainten kuvassa näkyvällä korkeudella. Keskiarvoistetun käyrän minimi osoitti sierainten korkeussijainnin kuvassa (ks. kuva 6.7c käyrä 1).

Toisessa sierainhakuaskeleessa sieraimet erotettiin toisistaan horisontaalisella hakuilla. Haku tehtiin kuten vertikaalinen haku, mutta rivien tilalta laskettiin sarakkeiden valoisuusarvoja, ja sarakkeiden keskiarvoistetusta minimistä valittiin kaksi minimiä (ks. kuva 6.7c käyrä 2). Toiseksi pienimmän minimin valinnassa ei huomioitu ensimmäisen minimin välittömiä lähialueita, jottei kyseinen sierain tulisi valituksi kahta kertaa.

### Tosiaikainen sierainseuranta

Reaaliaikaisessa sierainhaussa etsintäalue suhteutettiin aikaisemmin löydettyyn sierainpariin. Etsintäalueesta erotettiin tummat kohdat binarisoimalla kuva. Binarisoinnin kynnyksarvona käytettiin arvoa, joka jakoi tummat ja vaaleat pikselit histogrammissa tietyllä prosenttiosuudella. Osuuden arvona käytettiin 15 – 25%.

Binarisoitu etsintäalue segmentoitiin 4-yhteydellisesti (Snyder & Qi 2004), jonka jälkeen alueista poistettiin liian isot, pienet ja väärän muotoiset segmentit. Segmenttien ominaisuudet suhteutettiin kasvoalueen kokoon. Mikäli segmenttejä jäi enemmän kuin kaksi, laskettiin segmenttien suhteet toisiinsa. Sieraimiksi valittiin segmenttipari, jonka etäisyys ja suuntavektori toisiinsa oli tietyn muutoksen sisällä edellisestä kuvasta. Mikäli yhtään tällaista alueparia ei löytynyt tai alueita oli useampi kuin kaksi, haettiin kasvot uudestaan kasvohauulla. Kuvassa 6.7d on esitetty segmentointi,

sekä paritestausta katkoviivoin. Hylätyt segmentit ja parit ovat merkattu harmaalla.

### Suun mittaus

Suun avoimuuden arviointi toteutettiin etsimällä huulten ylä- ja alaraja kapealta alueelta suun keskikohdalta. Etsintäalueen sijainti määriteltiin parametrein suhteessa sierainten keskipisteeseen. Suun korkeuden etsintäalue on esitetty kuvassa 6.7e.

Huuliin kuuluvat pikselit tunnistettiin värikomponenttien perusteella. Pikseli katsottiin kuuluvan huuliin, mikäli sen kunkin värikomponentin arvo oli parametrein määritellyllä arvovälillä. Arvovälien määrittely ja vertailut tehtiin HSI-väriavaruudessa sen teoriaosuudessa esitetyn soveltuvuuden vuoksi. Gillin tapauksessa värisävy oli kaikkein olennaisin komponentti, kun taas Benzdrinen seuraaminen tehtiin pelkästään intensiteetin mukaan seurannassa käytetyn mustavalkokameran vuoksi.

Huulten reunoilla oli jonkin verran erillisten huulipikselien muodostamaa epätaisaisuutta. Yksittäisten pikselien vaikutus huulten etsintään eliminoitiin käyttämällä kertymäfunktioita ja raja-arvoa. Tämä on esitetty kuvassa 6.7f. Huulten yläreunaa etsittäessä kertymäfunktioiksi määriteltiin huulipikselien määrä etsintäalueen yläreunasta lähtien. Huulten reunan katsottiin alkavan kohdassa, jossa kertymäfunktion arvo ylitti parametrina annetun prosenttiosuuden etsintäpinta-alasta. Kertymäfunktio laskettiin riveittäin, jolloin huulten reuna arvioitiin rivien väliin lineaarisessa suhteessa rivien kertymiin. Alareuna haettiin vastaavasti etsintäalueen alapäästä. Näin suun muut alueet (hampaat, kieli, ym.) eivät häirinneet etsintää.

### 6.6.7 Lopullinen toteutus

Ensimmäisessä toteutuksessa ilmeni ongelmia. Ensimmäkin reaaliaikainen seuranta ei etsinyt kasvon kokoa, jolloin se oli pääteltävä sierainten etäisyydestä, mikä aiheutti heiluntaa saatuun arvoon.

Toiseksi tosiaikaisen sierainhaun ja OpenCV:n kasvopaikannuksen vaatimukset kasvojen asennosta olivat ristiriitaisia. Tosiaikainen seuranta epäonnistui ajoittain, joten kasvopaikannustakin tarvittiin ajoittain. Tosiaikainen sierainhaku toimi parhaiten alaviistosta kuvattuna, kun kasvopaikannus suoraan edestä. Toisella näyttelijällä nämä vaatimukset eivät yhtyneet, vaan näiden yhdistelmä ei toiminut luotettavasti.

Kokeillessa esityskalustolla huomattiin OpenCV:n kasvopaikannus sen verran nopeaksi, että reaaliaikainen sierainhaku päätettiin jättää kokonaan pois. Tällöin säästettiin myös ristiriitaisuudelta. Viipeen minimoimiseksi kasvojen paikannus tehtiin edellisen kuvan kasvojen sijainnin lähistöltä. Mikäli kasvoja ei löytynyt, niin etsintä laajennettiin kuvan koko alueelle.

Sieraimen keskipiste koettiin kuitenkin hyväksi kiinnepisteeksi huulten hakuun. Pään kääntäminen muutti huulten ja kasvoalueen suhdetta, joten sierainten haulla saatiin parempi arvio huulten keskikohdasta leveyssuunnassa.

Suun avoimuuden arvo heilumisen minimoimiseksi kasvojen korkeudesta laskettiin jatkuva keskiarvo, johon suun avoimuusarvoa verrattiin. Lisäksi suun avoimuusarvosta laskettiin kahden arvon keskiarvo. Tämä toi tulokseen näkyvän viiveen, mutta muutti liikkeen paljon luonnollisemmaksi.

### 6.6.8 Kalibrointi ja käyttöliittymä

Ennen jokaista esitystä järjestelmä kalibroitiin näyttelijöiden meikkeihin. Kamerateurantaohjelmiston käyttöliittymässä pystyi asettamaan kynnsarvot kuvan eri komponenteille. Kameran ja seurannan parametrit tallennettiin erilliseen tekstitiedostoon, josta ne ladattiin seurannan alkaessa. Ohjelmasta pystyi helposti valitsemaan kumpaa seurantaa ollaan tekemässä.



## Luku 7

# Toteutetut visuaaliset tehosteet

Tässä luvussa kuvataan toteutetut tehosteet, sekä niiden toteutustapa. Tehosteet esitellään kohtauksittain esityksen kronologisessa järjestyksessä. Tarkemmat toteutustavat esitellään tämän jälkeen kuvantamiskomponenteittain.

Ajankäytöllisistä syistä osa tehosteista hioutui esityssarjan aikana. Alla olevassa tehosteiden kuvauksessa keskitytään niihin tehosteisiin, jotka koettiin hyväksi ja toimiviksi, ja jotka olivat käytössä esityssarjan loppupuolella. Toteutettujen, hylättyjen tehosteiden suhteen kerrotaan hylkäyssyyt.

Osa esitallennetuista videoista ei miellyttänyt ohjaajaa, jolloin osa niistä jätettiin kokonaan käyttämättä ja osa poistettiin esityksestä ensi-illan jälkeen. Pääsyy oli keskeneräisyys; tehosteiden valmiusaste ei miellyttänyt ohjaajaa. Videona tehtyjä tehosteita oli hyvin kankea muokata taiteellisesti hyväksyttävämpään suuntaa, koska niissä esiintyvien partikkelisysteemien muokkaaminen vaati ohjelmoijan panoksen lisäksi lavastajia luomaan videot. Tehosteiden hylkäyssyytä esitetään kirjoittajan muistinvarainen ohjaajan näkemys.

Lavastajat ja Tapio Takala tekivät kaikki ne esitallennetut videot, joista ei alla toisin mainita. Takalan vastuulla olivat ohjelmallisesti generoitavat tehosteet, kuten partikkelisysteemeillä toteutetut kukat ja pisteiden liikkeet, joista tehdyt videot liitettiin lavastajien tekemiin taustoihin. Videot näytettiin liipaisemalla ne ohjauskäyttöliittymästä sopivassa kohtaa esitystä.

### 7.1 Tehosteet kohtauksittain

Kaikki listatut tehosteet toteutettiin kuvantamisjärjestelmän komponenteilla. Kuvat ovat 9.2.2009 olleesta toiseksi viimeisen esityksen Sibelius-Akatemian SibaTV:n tekemästä videonauhoituksesta.



Kuva 7.1: Kohtaus 1; Gillin suu.

### **Kohtaus 1: Painajaisuni ja miesinsinöörikuoro**

Gillin pään haluttiin muodostuvan pehmeistä viivoista, jotka olisivat virtuaalipään pinnalla kuin valoviirut oikean ihmisen kasvoilla. Jacquemin'in toteutuksessa viivat olivat liian tarkkarajaisia, ja ne liikkuivat ihon mukana. Kokonainen kasvokuva ei siten ollut ohjaajan mielestä tarpeeksi kaunis. Viivamallista oli myös hyvin vaikea erottaa suun liikkeitä. Kasvokuva rajoitettiin käsittämään vain suun alue, jolloin siitä voitiin tehdä paljon isompi ja selvemmin havaittava.

Viivojen muodostama suu ilman kasvojen muuta osuutta oli vaikeasti tunnistettavissa. Ratkaisuksi viivojen väliin lisättiin hieman harmaata, jotta pinnan muodot ja suun aukko erottuisivat paremmin. Alkuperäisen suunnitelman kaikuna suu rajoitettiin kuusikulmaiseen, kannettavan muotoiseen alueeseen. Tehosteen kuvantamistavastuu on kasvokomponentilla.

Seurantakamera sijoitettiin mikrofoni- ja valokäsitteeseen. Seurannan aikana näyttelijän tuli seistä kameran edessä kasvot kameraa kohden. Näyttelijän kanssa sovittiin, että hän katsoo pääsääntöisesti tiettyyn sovittuun pisteeseen katsomon takana, jolloin laulamisesta aiheutuva pään liike pysyy toimivissa rajoissa. Kuvassa 7.1 näkyy suutehoste ja laulajan sijainti näyttämöllä.

### **Kohtaus 2: Aamumeditaatio**

Insinöörien pään kohdalta haluttiin ilmestyvän pisteitä, jotka kerääntyisivät kiertämään Gillin yläpuolelle ilmestynyttä ympyrää. Tehoste toteutettiin videona, jonka pohjana oli Tapio Takalan tekemä animoitu partikkelisysteemi. Partikkelit syntyivät insinöörien sijainnissa, ja Gillin ympyrä veti niitä puoleensa. Tavoitteellisella kiertämisyydellä partikkelien vauhtia rajoitettiin, ja niihin alkoi vaikuttaa ympyrän



Kuva 7.2: Kohtaus 3; Benzdrinen virtsaus.

tangentin mukainen voima, joka piti partikkelit tavoite-etäisyydellä ympyrän keskipisteestä. Tehoste kuitenkin hylättiin ohjaajan mielestä liian valmistelemattomana käytettäväksi esityksissä.

### **Kohtaus 3: Ilkka vierailee Benzdrinen luona**

Ilkan sisääntuloon haluttiin kubistinen valolla toteutettu ovi, ja Ilkan ja Benzdrinen keskustelun aikana haluttiin lavasteisiin ilmestyvän sanoja, ja lopuksi Benzdrine virtsaamaan oma nimensä takaseinään.

Sanat toteutettiin toisiinsa peräkkäin sopivina videopätkinä. Tehostetta ei kuitenkaan käytetty, koska se oli liian voimakas ja sen arvioitiin vievän liikaa huomiota. Tämän takia kuviokomponentilla toteutettu valkoinen ovi osoittautui liian yksinäiseksi, ja sekin jätettiin pois.

Kirjoittaja ja ohjaaja toteuttivat Benzdrinen virtsaamisen videona, koska vuorovaikutteista versiota ei ehditty toteuttamaan. Video käynnistettiin näyttelijän mennessä näyttämön takaosaan. Videolla tuli keltaisella kirjoituksella takaseinälle teksti "Benze". Kuvassa 7.2 näkyy virtsaamistapahtuma. Videon pituus sovitettiin Ilkan puheen pituuteen videokomponentin nopeussäädöllä.

### **Kohtaus 4: Premediatilaisuus**

Tehoste toteutettiin videona, jossa alussa siniset kaaret nousevat hitaasti alhaalta ylöspäin. Kaaret ovat esitetty kuvassa 7.3. Jonkin ajan kuluttua kaartien tulo loppuu, ja ylhäältä alkaa sataa hitaasti vaaleita pisteitä. Videon taustaväriä oli sininen, jonka sävy muuttui hitaasti vaaleampaan kuin päivän sarastaessa.



Kuva 7.3: Kohtaus 4; nousevat siniset kaaret.



Kuva 7.4: Kohtaus 5; puutarhatehoste.

### Kohtaus 5: Benzadrine kappaa Gillin

Gillin puutarhan luonti toteutettiin videona, jonka alussa kukkia kasvaa ympäri näyttämöä. Kukat pyörivät ja hieman heiluvat. Tosi aikaisen toteutuksen puuttuessa kukkien lakastumista ei toteutettu, vaan lopussa video vain hävytettiin pois. Kuva 7.4 esittää kohtauksen hetkeä, jolloin kukat ovat jo kasvaneet taustalle.

Takala teki kukat Processing-ohjelmointikielellä. Luotu kuvasarja liitettiin lavastajien tekemän vaalean, sävyään vaihtavan, taustan päälle. Kukat muodostuivat keskipisteestä lähtevistä viivoista, joiden päässä oli värikkäät pallokuviot. Yksittäinen kukka oli toteutettu partikkelisysteemillä, jossa jokaisen partikkelin kohdalle piirrettiin pallokuvio ja viiva keskipisteeseen. Partikkelit päästettiin keskipisteestä voimaantumistaan, joka vei partikkelit tietylle etäisyydelle. Kukan haarautuvuus eri suuntiin taattiin asettamalla partikkelien välille hylkimisvoima.



Kuva 7.5: Kohtaus 6; taustavideo.



Kuva 7.6: Kohtaus 8; radiotehoste.

**Kohtaus 6: Insinöörit ihmettelevät Gillin poissaoloa**

Kuvassa 7.5 on esitetty kohtaukseen toteutettu video, jossa sinisen taustan päälle kasvaa hitaasti punainen viiva vasemmalta.

**Kohtaus 8: Radio ja lähtö**

Kuvassa 7.6 näkyy videona toteutettu radiotehoste. Radion ollessa päällä, heijastettiin kuuluttajan taakse televisiokohinaa ja sekavaa kuvamateriaalia yhdistelevä video.

**Kohtaus 9: Insinöörien uinti**

Kuvassa 7.7 on kuvattuna toteutettu vesitehoste. Veden liike matkii oikeaa vettä, ja se toteutettiin simuloimalla veden pintaa. Tehosteiden viivat ovat rivejä simuloidusta



Kuva 7.7: Kohtaus 9; vesitehoste.

vesipinnasta, jolloin aallot leviävät paitsi viivojen suunnassa myös viivoilta toisille. Viivat muodostavat ikään kuin perspektiivinäkymän vesipintaan. Kolmiulotteista vaikutelmaa voimistettiin tekemällä tasot läpinäkymättömiksi viivojen alapuolelta, jolloin taaempina olevat viivat peittyivät, mikäli ne menivät edempänä olevan viivan alapuolelle.

Insinöörien liikkussa hitaasti vedenpinta aaltoili kuin siihen osuisi sadepisaroiita. Osumien määrää pystyttiin säätämään käyttöliittymästä vetopalkilla. Tehostemies säätäi näin aaltoilua suhteessa insinöörien liikehdintään. Insinöörien kyykistyessä sukellukseen aiheutettiin liipaisemalla isot aallot etukäteen asetettuihin kohtiin.

Veden pehmeys luotiin antialiasoimalla veden viivat käyttäen tekstuuria sekä asettamalla veden simulaationopeus hieman oikeata vettä hitaammaksi. Vesitehosteen kuvantamisvastuu oli aaltokomponentilla.

### **Kohtaus 10: Matka Neopiilaaksoon**

Kohtauksen tehosteena käytettiin yhtä videota, jossa kuvataan matkantekoa ja Benzadrinen hallusinaatioita. Matkantekoa kuvaamaan käytettiin liikkuvia puutarhan kukkia, jotka ikään kuin lensivät perspektiivissä katsojia päin videon alussa. Auringkohallusinaatioita kuvaavat kaksi tummaa pehmeärajaista ympyrää, jotka nousivat kuin auringot näyttämön keskikorkeudelle. Kukat häivytettiin ennen musta-aukko-hallusinaatiota, joka visualisoitiin Gillin kasvavalla kasvokuvalla. Kasvokuva tuli oikealta ja kasvoi hitaasti niin, että toinen silmistä täytti lopulta koko lavastuksen mustallaan. Kuvassa 7.8 on esitetty kohtauksen hetki, jossa Gillin hahmon kasvot ovat juuri kasvamassa mustaksi aukoksi.



Kuva 7.8: Kohtaus 10; Benzdrinen hallusinaatiot.



Kuva 7.9: Kohtaus 11; dekodauksen muistoryöppy.

### Kohtaus 11: Dekoodaus

Kohtaukseen haluttiin tehoste, jossa Benzdrinen dekoodaaminen saisi visuaalisen esityksen. Tehostetta käytettiin vain kohtauksen loppupuolella Agathan dekodatessa Benzdrineä, jolloin Benzdrine on polvillaan keskellä näyttämöä ja katsoo ”dekoodauslaitteeseen”. Lopullinen tehoste koostui Benzdrinen virtuaalipäästä ja muistoryöpyistä. Kuvassa 7.9 esitetään tehosteet dekodauksen keskivaiheilla.

Benzdrinen virtuaalipää ilmestyi tehostemiehen liipaisulla näyttämön vasempaan reunaan, kun dekodauslaite asetettiin Benzdrinen eteen. Benzdrinen virtuaalipään suu seurasi Benzdrinen suun liikkeitä, ja iho muodostui muistoneliöistä. Muistoneliöt hävisivät yksi kerrallaan näennäisesti satunnaisessa järjestyksessä jättäen suun viimeisenä näkyviin. Muistoneliöiden häviäminen on ajoitettu niin, että kaikki olivat kadonneet näkyvistä hieman ennen Benzdrinen hahmon kuolemaa. Virtuaa-

lipään kuvantamisvastuu oli kasvokomponentilla.

Ensimmäisissä esityksissä Benzdrinen kasvoista häviävät muistoneliöt näytettiin häviämisen kanssa samassa tahdissa näyttämön taustalla isompina kuvina. Toteutus oli kuitenkin taiteellisen ryhmän mielestä visuaalisesti hyvin vaisu, joten kolmannen esityksen jälkeen näiden kuvien tilalle toteutettiin muistoryöpyt säveltäjien ja ohjaajan idean pohjalta.

Muistoryöpyssä 4–18 Benzdrinen virtuaalipään ihossa käytettyä muistokuvaa ilmestyi lyhyehkön ajan kuluessa yksitellen satunnaisiin kohtiin lavasteita. Kaikkien kuvien ilmestymisen jälkeen kuvat hävisivät yksi kerrallaan määrätyn ajan kuluessa. Yhden ryöpyksen kesto vaihteli 5 – 15 sekunnin välillä. Ryöppyjen kuvantamisvastuu oli kuviokomponentilla.

Muistoryöppyjen tyyli muuttui dekodauksen aikana. Ensimmäiset ryöpyt olivat varsin nopeita ja kuvina käytettiin selkeitä tilannekuvia. Dekodauksen loppua kohden ryöpyt hidastuivat, ja niissä käytetyt kuvat muuttuivat ensin sekaviksi ja lopulta sumeiksi. Muistoryöpyt ajoitettiin ohjaajan esityksen aikaisten ohjeiden mukaan, jolloin ryöppyjen tiheys ja tyyli vaihteli musiikin ja näyttämön tapahtumien mukaisesti.

## 7.2 Kuvantamiskomponentit

Tässä osiossa esitellään komponenttijärjestelmän kuvantamiskomponentit, jotka piirsivät tehosteet. Nämä olivat kasvo-, video-, aalto- ja kuviokomponentti.

Näistä kasvo-, video- ja kuviokomponentilla oli kullakin VirChorissa jossain määrin vastaava solmu. Viestien ja uusien objektien luomisen rajoittuneisuudesta, mikä on kuvattu kohdassa 6.2.2, johtuen nämä toteutettiin komponenttijärjestelmään tuotantoon paremmin sopivina. Kullekin näistä komponenteista toteutettiin myös helposti ohjattava nosto- ja häivytystehoste.

### 7.2.1 Kasvot

Virtuaaliset päät tuotetaan VirChorin, kasvoseurannan ja kasvokomponentin yhteistyönä. VirChorin osuutena oli kuvantaa MARC-kasvomalli annetuilla ilmeargumenteilla. Kasvoseuranta lähetti VirChorin kasvomallille ilmettä vastaavat tunnekanaavan argumentit. Kasvokomponentti taas mahdollisti mallin kuvannuksen kopioimisen ja sijoittamisen eri paikkoihin lopullisessa näyttämökuvassa, sekä mallin tarkan ajoittamisen muiden tehosteiden kanssa. Kasvokomponentti ohjasi VirChorin kasvomallin piirtoa, joten kasvokomponentin voidaan sanoa olleen päävastuussa kasvojen piirrosta.



Laulajan laulamisen seuraamiseksi toteutettiin suoraan suun asentoja näytteistävää toteutus. Kasvomallin piti siis pystyä toistamaan tosiaikaisesti suun aukeaminen seurannasta saatujen parametrien perusteella. Kasvomalleiksi arvioitiin sopivan avainkuvien interpolointiin tai sopivaan parametrisointiin perustuvat mallit, koska näillä on mahdollista saada nopeasti tiettyjä parametreja vastaava ilme aikaiseksi. Vaihtoehtoisissa, kasvoja simuloivissa, malleissa järjestelmän propagoituminen tuo viivettä ilmeen muodostamiseen, ja muutoksen aikana edellinen ilme vaikuttaa tulokseen. Edellisen ilmeen vaikutus on väärä, koska kaikki esitettävä ilmedata saadaan suoraan tosiaikaisesti kasvoseurannalta.

### **Kasvomallin valinta**

Kasvomalleille asetetut vaatimukset olivat:

- Tosi aikainen kasvoniilmeiden kuvantaminen seurantaparametrien perusteella.
- Kasvojen ilmaisukyvyyn vaatimuksena oli vähintään suun pehmeä aukominen.
- Malli voidaan yhdistää muiden tehosteiden kanssa samaan esitysjärjestelmään.
- Mallin geometriaa ja tekstuuria on mahdollista muokata.

Vaatimusten perusteella rajattiin etsintä suoraan parametrisoituihin ja interpoloi-viin malleihin. Interpoloitavan mallin avainilmeiden luomiseen pohdittiin tosin myös fysikaaliseen simulointiin pohjautuvaa Emma-mallia (Mäkäraäinen 2006), jossa oli valmiiksi miehen ja naisen päät FACS-parametrisoituina.

Lopulta valittu graafinen ilme ei vaatinutkaan kasvomallilta merkittävää konfor-maatiota näyttelijöiden kasvojen kanssa, ja tutkijavaihdossa mediatekniikan laitok-sella ollut VirChorin pääkehittäjä ja kasvomallin kanssa tekemisissä ollut Christian Jacquemin lupautui muokkaamaan kohdassa 3.4.4 esitellyn MARC-kasvomallin graa-fisen ilmeen produktioon sopivaksi.

MARC-kasvomalli täytti kasvomallille asetetut vaatimukset, ja MARC:in muka-na tuleva VirChor alustan nähtiin olevan hyväksyttävä, jolloin yhdistelmän vähäi-nen työläys nousi merkittäväksi valiksi. Virtuaalisten päiden malliksi valittiin siten MARC-kasvomalli.

Jacquemin:in graafisesti muokkaamat mallit antoivat mahdollisuuden animoida suoraan vain 8 tunneilmettä MARC:in ylemmän tason parametrisoinnilla. Sekoit-tamalla pelon ja yllätyksen avainilmeitä, saatiin aikaan aukeava suu ilman muun kasvon merkittävää muutosta. Malli animoitiin laskemalla kahdelle ilmeelle painote-tut parametrien arvot suun aukeamista mittaavan muuttujan perusteella. Jälkikä-

teen kävi ilmi, että muiden MARC:ille määriteltyjen ilmeiden ja eleiden käyttöönotto olisi ollut hyvin helppoa, mutta tarpeettomana asiaa ei selvitetty ennen esityksiä.

### VirChorin osuus kasvotehosteista

Jacquemin teki MARC-mallista teksturointitapaa muokkaamalla kaksi versiota, joita käytettiin esityksessä Gillin ja Benezdrinen virtuaalisina päinä.

Gillin naamaksi malli teksturoitiin pystyviivaiseksi. Taiteellisesti viivoista haluttiin näyttävän tasapaksuilla ja kuin ne muodostuisivat iholle osuvista valoviivoista. Jacquemin:in toteuttamassa teksturoinnissa käytettiin viivoitettua, yksiulotteista tekstuuria. Tekstuuri kiinnitettiin kasvoille suhteessa neutraaliin verteksigeometriaan kasvojen koordinaattiavaruudessa, joten ilmeiden esittäminen kasvoilla muutti viivoitusta myös hieman sivusuunnassa taiteellisen tavoitteen vastaisesti.

Ennen tietoa tarkasta näkymisrajauksesta vaihtoehtoisiksi ratkaisuksi pohdittiin valotasojen ja naaman geometrian leikkausviivojen laskemista. Kasvokolmioiden ja tasojen leikkauksista olisi saatu murtoviivat, joiden avulla olisi viivat voitu piirtää stylisoituna ja tasapaksuina riippumatta kasvojen tasogeometriasta tai kameran sijainnista. Toteutus olisi kuitenkin ollut työläs ja VirChorin mallia ei olisi voitu käyttää, koska sen ilmeenmuodostus tehdään grafiikkakortilla.

Benezdrinen malli teksturoitiin yhdellä tekstuurilla, joka oli mahdollista vaihtaa VirChorille lähetetyllä OSC-viestillä. Jacquemin:in tekemä verteksiohjelma asetti tekstuurin pään ympärille sylinteriprojektiona neutraaliin kasvogeometriaan. Tekstuurikoordinaatin leveysarvo  $u$  laskettiin kulmana pään lävistävän pysty akselin ympäri, ja korkeusarvo  $v$  tuli suoraan  $y$ -koordinaatista.

Tekstuurina käytettiin kuvasarjaa, jossa kuva häviää paloittain. Kuvan osina käytettiin muistoryöpyssäkin käytettyjä muistokuvia. Kuvan vaihto toteutettiin ohjauksikäyttöliittymällä. Kasvotekstuurin kuvasarjan eteneminen toteutettiin arpomalla aina odotusaika seuraavaan tekstuurin vaihtoon. Arvonta-aika määriteltiin odotusarvon mukaisesti, että kaikki kuvat tulevat näytetyksi esitykseen sopivassa ajassa. Vaihto-aika oli 4 – 12 sekunnin välillä.

### Kasvokomponentin osuus

Kasvokomponentti mahdollisti tarkan ajoituksen suhteessa muihin tehosteisiin, kasvokuvan kopioimisen useampaan paikkaan tehokkaasti sekä nosto- ja häivytystehosteet. Kasvokomponentin ohjaus tapahtui ohjauksikäyttöliittymästä.

Kasvokomponentti kopioi piirtovuorollaan VirChorin piirtämän kasvomallin kuvapuskurista tekstuuriksi. Kyseistä tekstuuria käyttämällä kasvot voitiin sijoittaa ja

skaalata helposti eri kohtiin lavasteita. Kasvokomponentti piirsikin kuvat sopiviin kohtiin kuvapuskuria. Häivytykset ovat toteutettu OpenGL:n tekstuurin piirtomoodin käsittelyllä.

Kopiointiominaisuus oli tarkoitettu piirtämään useampi kuva Gillin kasvoista tosiaikaisesti seuratuille pinnoille tehokkaasti. Tehokkuus oli olennaista, koska päämallina käytettiin varsin monimutkaista geometriaa. Vaikka seurantaa ei toteutettu, pystyttiin komponentilla sijoittamaan kasvot lavastukseen huomattavasti helpommin kuin VirChorin mallin transformaatioita muokkaamalla, sillä komponentin piirtovuorolla voitiin käyttää fyysisiin mittoihin perustuvaa sijoitusta.

Kasvokomponentti ohjasi VirChorin mallien piirtoa asettamalla halutun kasvomallin näkyvyysattribuutin päälle tai pois.

### 7.2.2 Videokomponentti

Videoiden näyttäminen toteutettiin komponenttijärjestelmään kytketyllä videokomponentilla. Komponentilla oli mahdollista asettaa videoiden koko ja sijainti, määritellä videon toistonopeus sekä toteuttaa nosto-, häivyty- ja ristivaihto-tehosteita. Videoille oli mahdollista myös määritellä videon lopulle vaihtoehtoiset toimintatavat: toista alusta, lopeta tai jätä viimeinen kuva näkyviin.

VirChorissa videoiden näyttämisen tuki oli produktion kannalta toimimaton kohdassa 6.2.2 kuvattujen puutteiden vuoksi, joten produktion toteutettiin paremmin soveltuva videotoistokomponentti. Komponenttitoteutuksen videopurkamisen ja näyttämisen toteutuksen idea on kuitenkin otettu ffmpeg-videokäsittelykirjaston (ffmpeg 2010) käytön ja tekstuurinkäytön osalta VirChorin vastaavasta toteutuksesta.

#### Toteutus

Videokomponentti pitää listaa näytettävistä videoista. Jokaista listalla olevaa videota kohden varattiin yksi tekstuuri, ja ajettiin yhtä säiettä, joka purki kyseistä videota. Listalla olevat videot olivat joko aktiivisia tai keskeytetty. Keskeytettyjä videoita ei näytetty eivätkä ne edenneet.

Videopurkusäie purkaa ffmpeg-videokäsittelykirjastoa käyttäen yhden kuvan kerrallaan, ja jää odottamaan kunnes tuotettu kuva on käytetty. Päivityskierroksella jokaisen aktiivisen videon kohdalla tarkastettiin onko näytettyjen kuvien määrä pienempi kuin olisi syytä sillä ajankohdalla. Mikäli näin oli, oli syytä näyttää uusi kuva, ja silloin kopioitiin säikeen purkama kuva tekstuuriksi. Piirtokierroksella aktiivisten videoiden tekstuuri piirrettiin kuvaan nelikulmiona.

Häilytys ja nosto toteutettiin piirtämällä videot ajan suhteessa alpha-kanavillaan sopivasti läpinäkyvinä. Nostokomennot koostuivat suunnasta (nosto vai häilytys), ajasta jonka jälkeen tehoste oli lopullisesti valmis ja tiedosta pysäytetäänkö video tehosteen jälkeen. Ristivaihto saatiin aikaiseksi yhdistämällä häilytys edelliselle videolle ja samaan aikaan nosto tulevalle videolle.

Keskeytetyt videot pidetään listalla, jotta edellisen kohtauksen videot voidaan häilyttää tai jatkaa uuden kohtauksen aikana. Jokaisen kohtauksen vaihdossa ohjauskäyttöliittymästä lähetetään OFF-komento kaikille komponenteille. Tällä varmistetaan, ettei kohtauksessa jatku mikään väärä tehoste vaikka tehostemies erehtyisi järjestyksestä. Videokomponentti käsittelee OFF-komennon asettamalla kaikki aktiiviset videot keskeytetyyn tilaan. Näin OFF-komento sammuttaa kaikki videot, mutta samaan komentorykelmään voidaan antaa jatkokomento, jolloin videon näyttäminen jatkuu samantien.

Ffmpeg antoi joidenkin videoformaattien viimeiseksi kuvaksi mustan kuvan. Viimeisen kuvan näkyviin jättämisen varmistamiseksi videolle oli mahdollisuus määrittellä kuvafiltteri, joka määritteli mitkä kuvat videovirrasta hyväksytään. Viimeisen kuvan näkyminen voitiin varmistaa asettamalla videolle filtteri joka tarkasti oliko kuvan keskijuovalla jotain muuta kuin mustaa.

### Vaihdosten tyypit

Suurimmassa osassa videoiden vaihdoissa käytettiin noin 3 – 10 sekunnin mittaisia ristivaihtoja. Moni video oli hyvin kokonaisvaltaisesti lavasteissa, jolloin pehmeällä muutoksella saatiin aikaan katsojia hätkähdyttämätön siirtymään.

Nopeaa leikkausta käytettiin vaihtamaan Neopiilaakson sijainnista Benzdrinen bunkkeriin sekä Gillin ja Benzdrinen matkan loppuksi, kun he saapuvat Neopiilaaksoon takaisin. Molemmissa tapauksissa haluttiin korostaa lavasteissa kuvattavien tapahtumapaikkojen etäisyyttä toisistaan ja voimakasta tunnelman muuttumista.

### 7.2.3 Aaltokomponentti

Aaltokomponentti vastasi vesipinnan simuloinnista ja viivojen piirrosta. Tapio Takala toteutti vesipinnan simuloinnin kirjoittajan suunnitelman perusteella, minkä jälkeen simulointikoodi muokattiin komponenttisysteemiin sopivaksi lisäämällä siihen piirto-osuus, ohjausmahdollisuus ja ajoitus, sekä asettamalla parametrit sopiviksi.

### Simulointi

Veden pintaa simuloidaan jousiverkolla, jossa massapisteiden liike on rajoitettu pystysuuntaiseksi. Näin jokainen massapiste muodosti oman vaimennetun pakotetun värähtelijän. Pakotusvoimana käytetään naapurimassapisteiden korkeuserotuksen mukaista jousivoimaa. Näin veden korkeuserot propagoituivat jousiverkossa aaltojen lailla. Pystysuuntaisen liikkeen rajoittamassa systeemissä ei tarvittu laskea sivuttaisvoimia, mikä yksinkertaisti laskentaa huomattavasti.

Toteutuksessa massapisteeet oli määritelty solukkona, jossa solut vastasivat massapisteeitä. Kaikille soluille käytettiin yhteistä jousivakiota  $k_o$  ja vierekkäisten solujen korkeuseron jousivakiota  $k_v$ . Solukohtaisesti pidettiin kirjaa solun omasta korkeudesta  $h$  suhteessa 0-tasoon, vauhdista  $v$  ja vaimennusvakiosta  $c$ .

Jokaisella solulla oli oma vaimennusvakio kahdesta syystä: reunavaimennusta ja aaltojen nostatusta varten. Reunavaimennus vaihtoi solujen vaimennusvakion  $c$  pysyvästi, mutta aaltojen nostatuksessa solujen vaimennusvakion  $c$  muutos oli väliaikainen. Syyt käsitellään tarkemmin alla.

Simulointi tapahtui Eulerin menetelmällä. Kullakin kierroksella kuhunkin massapisteeeseen vaikuttavat voimat  $f$  laskettiin kaavalla:

$$f = -cv - k_o h + \sum_{i=\text{naapurit}} (\Delta h_i k_n)$$

Toteutuksessa naapureiksi valittiin 8-yhteyksinen malli, jossa jokainen solu vaikuttaa samalla jousikertoimella  $k_n$ . Kehittelyn aikana kyllä harkittiin käyttää vinottain olevien naapurien jousivoimana etäisyyden mukaisesti  $1/\sqrt{2}$ :llä skaalattua voimaa, mutta tulos oli kuitenkin erinomainen ilmankin.

Voiman perusteella päivitettiin massapisteen vauhti kaavalla:

$$v_{uusi} = v_{vanha} + f/m$$

Kun kaikkien pisteiden vauhti oli päivitetty, voitiin kunkin pisteen uusi paikka laskea simuloitavan askelajan  $\Delta t$  perusteella:

$$h_{uusi} = h_{vanha} + v_{uusi} \Delta t$$

Simulointiaskeleiden määrä oli sidottu aikaan. Kokeilujen perusteella 50 kertaa sekunnissa takasi nykimättömän ja sujuvan simuloinnin. Simuloinnin aaltojen etenemismatkaa sekä etenemis- ja oskillointinopeutta säädettiin parametreilla  $\Delta t$ , jousi- ja vaimennusvakiolla. Näiden parametrien arvoille ei ollut mitään vastinetta tosi-

maailmassa, vaan sopivat arvot löydettiin kokeilemalla.

### Aaltojen nostatus

Aaltojen muodostuksessa halutun kohdan pisteille laskettiin impulssivoima alapäin. Impulssivoima aiheutettiin juurestaan pehmenneen pyramidin muotoisena, jossa vaikutusalueen keskellä impulssivoima oli voimakkaimmillaan, ja väheni reunoja kohden. Muodolla varmistettiin ettei vaikutusalueen reuna ollut liian terävä. Gaussin kellon muotoista impulssia harkittiin, mutta pyramiditoteutus oli tarpeeksi hyvä. Aaltojen nostatus näytti siltä kuin jotain tippuisi veteen ilman roiskeita.

Impulssivoima lisättiin pisteiden vauhtiin vain yhdessä askeleessa, koska näin ei tarvittu mitään monimutkaisempaa tietorakennetta tallentamaan voiman kohtaa, määrää ja ajoitusta. Pidempiaikaisen vaikutuksen ongelmana olisi ollut impulssin muodon valinta ajan suhteen, jotta aallosta muodostuisi pehmeä. Yhden askelen ratkaisussa impulssin oli kuitenkin oltava niin voimakas, että jousi- ja vaimennusvakiosta huolimatta massapisteen ehti alas luomaan aallon.

Voimakas impulssivoima sai massapisteen värähtelemään pystysuunnassa pitkäksi aikaa. Täten vaimennusvakion oli kaksi ristiriitaista vaatimusta; Toisaalta vaimennusvakiota oli oltava pieni, jotta aallot ehtivät levitä ennen liike-energian vaimennusta, mutta toisaalta aaltojen muodostuminen aiheutti voimakasta värähtelyä, joka piti vaimentaa suhteellisen nopeasti.

Takala ratkaisi pulman lisäämällä vaimennusta  $c$  aaltojen nostatuskohdassa jokikin aikaa. Vaimennus normalisoitiin laskemalla siitä jatkuvaa keskiarvoa kaavalla  $c_{uus} = c_{vanha} \cdot (1 - x) + c_{yleinen} \cdot x$ , missä  $x$  on vaimennuksen lientymisen nopeusparametri.

### Reunavaimennus

Simulointisolukon reunoilla aaltoliikkeen liike-energia ei siirry enää seuraavaan massapisteeseen. Tällöin massa-jousi-vaimentimen perusominaisuuksien takia aalto heijastuu takaisin reunasta. Asettamalla voimakkaammin vaimentavat kaistaleet simulointiverkon reunoille saatiin heijastus vaimenemaan niin paljon, ettei sitä huomannut ollenkaan. Kaistaleiden vaimennusarvot asetettiin pysyviksi, jolloin aaltojen nostatus ja siihen liittyvä vaimennuksen laskeminen ei vaikuttanut reunoille mitenkään.

### Piirto

Aallot piirrettiin hieman allekkain olevina viivoina kolmiulotteisen vaikutelman voimistamiseksi. Piirroksessa käytettiin orthogonaaliprojektiota viivojen tasaisen etäisyy-

den saamiseksi. Viivojen muodon määritteli vedenpintasolukosta tasaisin välein valitut rivit. Solukon vaimennuskaistaleita ei otettu mukaan piirtoon niiden luonnottoman näköisen käyttäytymisen takia.

Viivat piirrettiin korkeina kuvaustason suuntaisina yksiulotteisesti teksturoituina monikulmiostrippeinä. Monikulmiostripin ylä- sekä alareuna muodostavat vedenpintasolukon rivin mukaisen muodon. Teksturointi muodostaa yläreunaan voimakkaasti pehmenneen viivan, ja alaosaan vain läpinäkymättömän mustan, joka peittää taakseen olevat viivat.

Aallot tuotiin esiin nostamalla viivat alhaalta hivenen peräjälkeen siten, että kunkin aallon nousunopeus hidastui ylhäällä. Aaltojen pehmeään muotoon riitti 180 solua leveä solukko. Simulointisolukon korkeus oli 100 solua, ja vaimennuskaistaleiden leveys 10 solua joka reunalla.

#### 7.2.4 Kuviokomponentti

Kuviokomponentin tarkoitus oli mahdollistaa nelikulmaisten kuvioiden sijoittaminen lavasteisiin ohjaukseen käyttäytymän kautta. VirChorin vastaavaan toiminnallisuuteen verrattuna tämä toteutus oli notkeampi, koska kuviota pystyi helposti luomaan suoraan järjestelmän ollessa käynnissä. VirChorilla nelikulmiot oli määriteltävä suoraan malliin ennen kuvantamisjärjestelmän käynnistämistä, ja niitä oli käsiteltävä skriptien kautta.

Toteutuksessa kuviokomponentti piti listaa nelikulmioista, jotka olivat näkyvillä. Ohjaukseen käyttäytymästä voitiin luoda, siirtää, teksturoida ja poistaa nelikulmioita. Jokaiselle nelikulmiolle määriteltiin luonnin yhteydessä oma tunnus, jonka avulla muut komennot voitiin kohdistaa.

#### Muistoryöpyt

Muistoryöppyjen toteutukseen tehtiin kuviokomponenttiin lisäkomento, jolla voitiin määritellä helposti yksittäiset ryöpyt. Muistoryöppykomento lisäsi sopivat komennot komponenttijärjestelmän komentopuskuriin sopivan viipeen kera aivan kuten ohjaukseen käyttäytymästäkin olisi voinut tehdä. Muistokuvien satunnaisten sijoittamisen rajoitteet oli kuitenkin helpompi toteuttaa komponentissa kuin käyttäytymässä.

Ryöpyksen aikana haluttiin, että muistokuvat peittävät jossain määrin Benzdrinen virtuaalisen pään. Pään häviäminen muisto kerrallaan ja suun laulaminen haluttiin kuitenkin välittää yleisölle, joten muistokuvien sijoittuminen suun alueelle estettiin ja kasvojen alueella niiden esilläoloaika rajoitettiin.

Muistoryöpyksen kuvat määriteltiin erillisinä joukkoina. Muistoryöppy komennossa

määriteltiin minkä joukon kaikki kuvat halutaan näyttää. Muita muistoryöpyä parametreja olivat ajoitusmäärittelyt sekä maksimi- ja minimikoko kuville.

Ryöpyt ajoitettiin käyttäen nosto-, pysymis- ja poistojaksojen pituuksia. Nostojaksolla kaikki kyseisen ryöpyä kuvat ilmestyivät lavasteisiin arvottuna ajankohtana. Pysymisjaksolla kaikki kuvat olivat yhtä aikaa esillä, minkä jälkeen ne poistuivat poistojakson aikana arvottuna ajankohtana. Kasvojen päälle osuvien kuvien esilläolojakso pakotettiin lähelle pysymisjakson ajankohtaa.

Kuviokomponentti latoi kaikki muistokuvien tekstuurit etukäteen, jotta muistoryöpyä monien kuvien tekstuurien lataaminen ei aiheuttaisi pätkimistä kasvojen liikkeessä.



## Luku 8

# Arviointi

Tässä luvussa arvioidaan tehtyjä tehosteita suhteessa tavoitteisiin, tehosteiden kehitysprosessia sekä tehosteiden ja esitysympäristön teknistä toteutusta. Luvussa arvioidaan taiteellista onnistumista ohjaajan haastattelun ja katsojakyselyn perusteella. Tehosteiden kehitysprosessia arvioidaan ohjaajan haastattelun ja kirjoittajan kokemusten perusteella. Tekninen toimivuus arvioidaan kirjoittajan toimesta.

Kuten Reaney (2000b) sanoi, on taiteellisen produktion vaikuttavuuden arviointi suurelta osin subjektiivista. Luvussa pyritään kuitenkin erilaisilla näkökulmilla saamaan ymmärrystä toteutettujen digitaalisten tehosteiden toimivuudesta ooppe-raesityksessä.

### 8.1 Ohjaajan haastattelu

Tässä osiossa käsitellään produktion ohjaajan, Marielle Eklund-Vasaman, näkemyksiä toteutetuista visuaalisista tehosteista ja niiden tuotantoprosessista. Käsitteily perustuu esitysten jälkeen tehtyyn haastatteluun (Eklund-Vasama 2009) ja kehityksen aikana käytyihin keskusteluihin.

#### Tehosteiden suunnittelu

Ohjaajan mukaan tehosteiden käytön alkuperäisenä teemana oli toteuttaa jonkinlaisia kokonaisvaltaisia abstrakteja ääni- ja kuvamaisemia, joissa ihminen voisi hallita maailmaa virtuaalitekniikan luomien mahdollisuuksien turvin. Toteutettava teos vaihtui kuitenkin näytelmällisempään, jolloin vain hallinta oli enää mielekäs teemaattinen lähtökohta.

Ohjaajan mielestä produktion kehitysprosessi oli hyvin opiskelijamainen, minkä takia produktiossa jouduttiin tekemään paljon kompromisseja. Ohjaajan mielestä

oopperan kehitysprosessin työvaiheet sotkeutuivat toisiinsa, resurssit olivat melko pienet ja selkeä työroolitus puuttui tehosteiden osalta. Työvaiheet sotkeutuivat osittain resurssipulan takia ja osittain teoksen musiikin myöhäisen valmistumisen takia. Ohjaaja koki, ettei hänellä ollut aikaa tutustua teokseen. Myös lopullinen lavastussuunnitelma valmistui myöhään, koska kaksi ensimmäistä suunnitelmaa hylättiin liian korkeiden kustannusten vuoksi.

### **Yleisarvio**

Ohjaaja oli lähtökohdat huomioon ottaen tyytyväinen näytelmän lopputulokseen, varsinkin jälkimmäisten esitysten osalta. Hänestä näytelmä ”näytti hienolta”. Visuaalisten tehosteiden suhteen väritys oli onnistunut, ja jotkin grafiikat muutenkin jopa tyylikkään näköisiä. Toisaalta ohjaaja ei ollut tyytyväinen kaikkiin tehosteisiin, varsinkaan ulkonäön puolesta.

Ohjaajaa harmitti, että hän jäi tehosteilla kuvittamaan tarinaa visuaalisesti eikä tulkinnallisesti. Visuaaliset tehosteet jäivät myös jotenkin etäisiksi, keskeneräisiksi ja kuin viittauksiksi siihen, mihin niillä voisi päästää.

### **Yksittäisten tehosteiden arviot**

Ohjaajan mukaan kohtausten 5 ja 10 puutarha oli tyylikkään näköinen. Jälkimmäisessä puutarhan kukkien liikkeellä saatiin kuvattua siirtyminen paikasta toiseen. Tehosteiden olisi voinut korvata fyysisesti monella eri tapaa, mutta tehoste oli ”helppo ja käyttökelpoinen” keino kuvata siirtymä.

Kohtauksen 3 Benezdrinen virtsaaminen ”päästi ohjaajan vähän helpommalla”, koska Benezdrinelle ei tarvinnut keksiä muuta toimintaa näyttämöllä Ilkka Haukan pitkän puheen aikana.

Ohjaaja piti kohtauksen 9 vesitehosteen ”veden liikkuvuudesta” ja värimaailmasta. Tehosteesta olisi voinut tosin tehdä ”äärimmäisen kauniin varioimalla viivoja ja lisäämällä utuisuutta”. Ohjaaja katsoi, että tällä tehosteella kohtaukseen saatiin voimakkaampi tunnelma aikaiseksi.

Kohtauksen 1 avatarsuu ja kohtauksen 11 avatarkasvot eivät ”tuoneet mitään” näytelmään tai kohtauksiin, missä niitä käytettiin. Avatarien suun liikkeet eivät näyttäneet olevan tarpeeksi kytköksissä laulajan suun liikkeeseen: viive oli liian iso, suu ei näyttänyt reagoivan pieniin muutoksiin ja suu tuntui olevan ”joko auki tai kiinni”.

Ohjaaja arvelee, että kohtauksen 1 avatarsuun tilalla olisi toiminut ehkä paremmin jokin iso ja abstraktimpi visuaalinen tehoste. Kohtauksen 11 dekodeauksessa avatarkasvojen tarkoituksena oli ”suurentaa tapahtumaa”, mutta kaikkien kompro-

missien jälkeen se ”pienensi” sitä. Kasvotehoste olisi voinut toimia, jos sitä olisi päässyt kokeilemaan enemmän etukäteen ja katsomaan kuinka sitä voisi käyttää hyväksi. Toisaalta avatariin liittyvät muistikuvaryöpyt ”nostivat dekodauksen tehoa”.

Videotehosteiden osalta ohjaaja harmitteli ajoittamisen vaikeutta ja videoiden sisällön muokkaamisen kankeutta. Kehitysprosessin loppuvaiheessa ohjaaja hylkäsi joi-takin videoita viimeistelemättömän ulkonäön takia.

### **Tehosteiden suunnittelu**

Ohjaajan mielestä yksi merkittävä ongelma näytelmässä oli, että ”näyttämöllepano tehtiin nimenomaan ilman [tehosteita]”, koska ne eivät olleet valmiita. Tämän takia muu toiminta näyttämöllä ”kannatti itsensä”. Näin näyttelijöiden toiminta näyttämöllä oli täysin riippumaton tehosteista, ja visuaaliset tehosteet jäivät vain kuvittamaan kohtauksia.

Ohjaajan mielestä tehosteet ”ovat lyhytjänteisempiä” kuin lavasteet, ja täten ne vertautuvat enemmän näyttelijöihin kuin lavastukseen. Ohjaajan näkökulmasta tehosteita olisi pitänyt ”kohdella samalla tavalla kuin muuta liikettä näyttämöllä”. Tehosteiden olisi pitänyt olla suunniteltu etukäteen sekä tarpeeksi valmiita, ja olisi pitänyt olla myös työkalut valmiina, joilla tehosteita olisi voinut ”sijoitella ja kokeilla [...] harjoitusten alusta asti” näyttämöllä. Tällöin ne olisi voitu saada ”hengittämään samaan rytmiin kuin [muut tapahtumat] näyttämöllä”. Ohjaaja ehdotti tuleviin produktioihin mahdollisuutta muokata tehosteita harjoituksissa jotenkin interaktiivisesti.

### **Projisointi**

Ohjaajan mielestä oli hankalaa yhdistää valaistus ja projisointi niin, ettei niissä joutunut tekemän kompromisseja. Projisoinnin osalta ohjaaja piti ”kosmeettisesti” rumana näyttelijöihin osuvaa projisointia, ja näyttelijöiden aiheuttamat varjotkin olivat enimmäkseen huono asia.

Ohjaaja arveli, että tietyissä kohtauksissa näyttämön lattian käyttäminen tehosteiden projisointipintana olisi mahdollistanut kohtauksia, joissa olisi ollut enemmän taiteellista ilmaisuvoimaa. Näissä kohtauksissa näyttämö olisi ikään kuin muodostanut ”kuvauksen Gillin maailmasta [...] – kaiken kattavan kuplan, jossa [miesinsinöörikuorolaiset] elävät ja hengittävät”.

### **Käyttö tulevaisuudessa**

Ohjaaja uskoo, että tehosteilla voisi ”satumaisen” tai ”fantasiamaailmoihin” sijoituvan näytelmän kohdalla saavuttaa ”kokonaisvaltaista maagisuutta, että kaikki on mahdollista tai kaikki on jotenkin vähän kohotettua”. Itse hän uskoisi voivansa käyttää digitaalisia tehosteita joissain tulevaisuuden projekteissaan, mutta painottaa että myös perinteiset menetelmät saavuttaisivat hänen asettamansa tavoitteet.

Tehosteiden mahdollisessa käytössä ohjaajaa kiehtoo ajatus saada näyttämölle elävä ja ”orgaaninen” lavastetausta, johon näyttelijät voisivat ”upota tai mennä sisään”. Ohjaaja antaa esimerkkinä metsän, meren tai avaruuden. Lavasteisiin uppoutuminen tarkoittaisi esimerkiksi, että näyttelijä voisi piiloutua virtuaalilavastuksen puun taakse.

## **8.2 Katsojakysely**

Katsojien mielipiteitä kartoitettiin kyselylomakkeella. Kysely toteutettiin kaksiosaisena. Ensimmäisessä osassa haluttiin kerätä katsojien arvioita visuaalisten tehosteiden merkityksestä, huomattavuudesta ja sopivuudesta esitykseen. Toisessa osassa kyseltiin katsojien näkemyksiä virtuaalisten lavasteiden projisoinnin toimivuudesta ja sijoittelusta näyttämölle. Tässä osiossa esitellään molemmat kyselyt. Tulosten merkitys analysoidaan luvussa 9.

### **8.2.1 Tehosteiden huomattavuus ja taiteellinen täydentävyys**

Tehosteiden sopivuudesta ja merkityksestä esityksessä kyseltiin katsojilta lomakkeella, jonka Tietotekniikan tutkimuslaitos HIIT:n Timo Partanen on tehnyt mediatekniikan laitoksen edellistä oopperaa, Kalliit Oppitunnit (Kajastila & Takala 2008) varten. Edellisen kyselyn tavoitteena oli arvioida uudentyyppisten tehosteiden soveltuvuutta oopperaesitykseen. Saman kyselylomakkeen arvioitiin soveltuvan tutkimuksen tarpeisiin.

#### **Kyselyn toteutus**

Kysely toteutettiin kahden viimeisen esityksen lopuksi jakamalla lomake summittaisesti esitystilasta poistuville katsojille. Katsojat täyttivät lomakkeen paikan päällä heti esityksen jälkeen. Yhteensä kyselyyn vastasi 28 henkilöä, joista 18 jälkimmäisellä kerralla. Lomake löytyy liitteestä A.

Aikaisempaan kyselykertaan vastasi hyvin vähän henkilöitä, ja sen kertaista esityksessä Benzdrinen seuranta ei toiminut teknisen ongelman vuoksi. Lisäksi vii-

meiseen esitykseen tehtiin vielä muutamia pieniä muutoksia tehosteisiin. Jotta vastauksista saataisiin eheä kokonaisuus, aikaisemmasta kyselykerrasta käsitellään vain valikoitu tekstuaalinen palaute.

### **Taustatiedot**

Kyselyyn vastasi 18 katsojaa. Taustatietoina vastaajilta kysyttiin ikää, sukupuolta sekä aikaisemmin nähtyjen ooppera- ja teatteriesitysten määrää. Vastaa- jien ikä- jakauma oli varsin tasainen ja laaja – aina 21 ikävuodesta 71:teen. Miehiä vastasi kahdeksan ja naisia kymmenen.

Vastajat olivat käyneet teatterissa ja oopperassa ennenkin. Vain 1 ei ollut nähnyt oopperaesitystä ennen, mutta puolet olivat nähneet esityksiä yli 7 tai ”useita”. Teatteriesityksiä olivat kaikki nähneet aiemmin vähintään kymmenen kappaletta, ja puolet olivat nähneet yli kolmekymmentä tai ”useita”.

Ylipäättään voidaan arvioida, että vaikka otos onkin varsin pieni, on taustatietojen hajonta otoksella hyvällä tasolla.

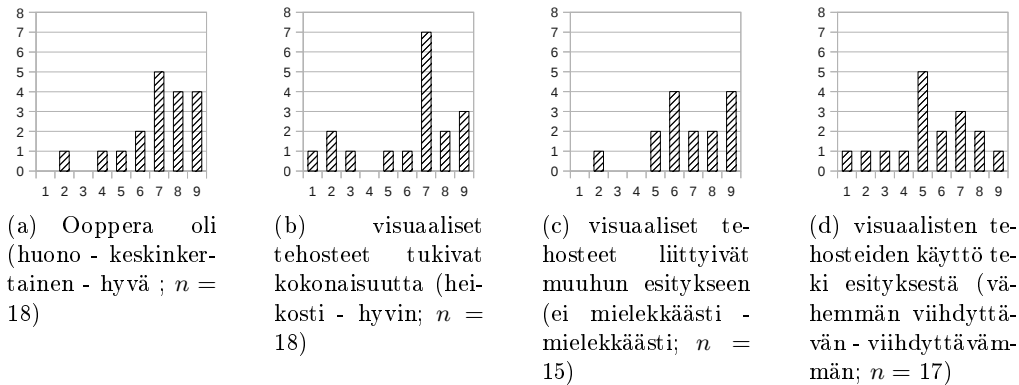
### **Tehosteiden yleisarvio**

Visuaalisten tehosteiden yleisarviota kartoitettiin yhteensä kuudella kysymyksellä, joista viisi oli asteikko- ja yksi vapaatekstikysymys. Asteikkokysymyksissä vastaajan piti valita arvo yhden ja yhdeksän välillä. Ääripäiden merkitys annettiin kunkin kysymyksen kohdalla.

Muutamassa kysymyksessä oli täysin sama kysymyksenasettelu, mutta arvoasteikon merkitys oli erilainen. Vastaukset korreloivat näissä kysymyspareissa hyvin voimakkaasti. Kysymyksen välillä ei nähty merkittäviä eroja, joten tässä käsitellään kustakin parikysymyksestä vain toinen; Tehosteiden liittymisestä muuhun esitykseen valittiin arvoasteikko ”ei mielekkäästi - mielekkäästi”, ja tehosteiden käyttö teki esityksestä -kysymykseen valittiin arvoasteikko ”vähemmän viihdyttävän - yhtä viihdyttävän - viihdyttävämmän”.

Kuvassa 8.1 on esitetty katsojien vastaukset visuaalisten tehosteiden arvioinnissa olennaisiin kysymyksiin. Kuvassa 8.1a on esitetty katsojien mielipide oopperaesityksestä. Arviointiasteikkona oli heikosta keskinkertaiseen ja hyvään. Vastausten keskiarvo oli seitsemän. Vastauksista näkee, että suurin osa katsojista piti esitystä parempana kuin keskinkertainen.

Kuvissa 8.1b–d on esitetty vastaajien arvioita ”esiintyjien taakse heijastetuista digitaalisista visuaalisista tehosteista.” Kunkin kuvan kohdalla on kerrottu kysymys ja arvosteluasteikko.



Kuva 8.1: Tehostekyselyn vastausten jakaumat.

Tuloksista voidaan nähdä, ettei tehosteita otettu vastaan suinkaan kritiikittömästi. Vastaukset hajaavat kaikissa kysymyksissä. Arvioiden keskiarvot ovat välillä 5,5 – 6,8.

Katsojien kannalta merkityksellistä on, ”tukevatko tehosteet kokonaisuutta” (kuva 8.1b), ja ”tekikö niiden käyttö esityksestä viihdyttävämmän” (kuva 8.1d). Näissä katsojien arviot hajaavat täysin. On syytä huomioida, että molemmissa merkittävä osa antoi negatiivisen arvion (alle 5). Erityisesti on syytä huomioida neljän henkilön arvioineen esityksen perinteisempää esitystä vähemmän viihdyttäväksi tehosteiden takia.

Tehosteiden liittyminen muuhun esitykseen (kuva 8.1c) sai parhaat arvosanat vastaajilta. Tämä oli yksi projektin lähtökohtaisista tavoitteista. Tosin tässäkin keskiarvo on vain 6,8 ja mediaani 7.

Vastauksissa myös ”visuaaliset tehosteet tukivat esityksen kokonaisuutta” korreloi vahvasti muiden visuaalisista tehosteista tehtyjen arvioiden kanssa. Tämä vahvistaa käsitystä, että esitystä tukeakseen tehosteiden täytyy liittyä esitykseen saumattomasti sekä mielekkäästi.

Kaikissa visuaalisten tehosteiden sopivuutta kartoittavien kysymysten vastauksissa on heikko korrelaatio (0,4 - 0,64) mielipiteeseen esityksestä. Samaa korrelaatiota ei ole äänitehosteista tehtyjen täysin vastaavien kysymysten kanssa.

Äänitehosteita kartoittavat kysymykset olivat samat kuin visuaalisten tehosteidenkin. Vastausten jakaumat ovat lähes identtiset visuaalisista tehosteista annettujen vastauksien kanssa. Ainoa vähän isompi ero oli, että katsojat arvioivat keskimäärin ”digitaalisten äänitehosteiden ja niillä aikaansaadun tilavaikutelman liittyvän” vähemmän mielekkäämmiin muuhun esitykseen kuin visuaalisten tehosteiden. Ero on silti pieni, vain kuusi kymmenystä, äänitehostevastausten keskiarvon ollessa 6,2.

### Visuaalisten tehosteiden vuorovaikutus

Vuorovaikutteisten tehosteiden merkitystä esityksessä pyrittiin selvittämään kysymällä havaitsivatko katsojat laulajien, laulajan äänen tai soittimien vaikuttavan tehosteisiin. Lisäksi kysyttiin missä kohdassa ne vaikuttivat tehosteisiin. Vastaukset ovat esitetty taulukossa 8.1.

Taulukko 8.1: Katsojien vastaukset kysymyksiin oliko esityksessä vuorovaikutteisia tehosteita.

	Havaitsi	Gillin avatar	Benzedrinin avatar	Aallot	Virtsaus	Dekoodaus
Laulaja	6	2	2	3	3	
Laulajan ääni	5			2		
Soitin	5					1

Useampi vastaaja sanoi havainneensa vuorovaikutusta, mutta eivät tarkentaneet missä kohdassa. Laulajan ääni tai soittimet eivät vaikuttaneet missään vaiheessa esityksen tehosteisiin, mutta dekodauksen muistiryöpyt kyllä ajoitettiin yleisesti musiikin mukaan.

Katsojia pyydettiin myös arvioimaan kuinka näyttelijöiden ”visuaalisten tehosteiden kontrollointi liittyi esitykseen” arviointiasteikolla katkonaisesta saumattomaan. Viisi vuorovaikutuksen huomannutta oli vastannut kysymykseen. Vastausten haarukka oli kolmen ja kahdeksan välillä keskiarvon ollessa 5,4. Pienen otoksen takia tästä ei voida vetää juurikaan johtopäätöksiä.

### Tehosteiden sanallinen arvio

Kysymyslomake sisälsi kolme vapaasti vastattavaa kysymystä, joilla kartoitettiin visuaalisten tehosteiden ja äänitehosteiden suhdetta perinteiseen oopperaan, sekä kysyttiin yleistä palautetta esityksestä. Tässä käsitellään molempien kyselykertojen tuloksia.

Ensimmäinen kysymys oli ”millä muulla tavalla digitaalisten visuaalisten tehosteiden käyttö vaikutti esitykseen verrattuna perinteisiin visuaalisiin oopperatehosteisiin”. Vastaukset jaettiin kahteen kategoriaan: tehosteet tuovat esitykseen jotain lisää, sekä tehosteet olivat laimeat tai eivät mitenkään uusia.

Vastauksissa, joissa tehosteiden katsottiin tuovan jotain lisää esitykseen (8 kpl), painotettiin tehosteiden muun muassa tekevän esityksestä mielenkiintoisemman, mo-

niulotteisemman, tuovan huumoria mukaan sekä sopivan tähän teoksen visuaalisuuteen näytelmän IT-kontekstin tukena. Yhdessä vastauksessa sanottiin niiden ”kiinnittäneen huomion ainutlaatuisuudellaan”.

Vastauksissa, joissa katsottiin tehosteiden olevan vaihteita tai ei mitenkään uusia (7 kpl), mainittiin esimerkiksi nähdyin jo hienommat vastaavanlaiset, tehosteiden olleen liian pieniä speaktaakkelin luomiseen, tehosteiden olevan epärelevantteja oopperassa, ja videotykillä toteutettuja tehosteita käytettävän jo laajalti oopperassa. Yksi vastaus arveli, että “[...] Reaaliaikaisuus ei tuonut katsojan kannalta suurta eroa, pikemminkin pienensi visuaalisen kuvaston näyttävyyttä, johon muutoin on videotykkien kanssa tottunut. [...]”

Äänitehosteiden osalta haluttiin ”jonkun ’soittavan’ tehosteet montussa”. Äänitehosteita kehui viisi vastaajaa: äänitehosteet olivat muun muassa ”monipuolisia” ja ”äänimaailma oli saumaton osa esitystä”.

Viimeinen kysymys lomakkeessa oli ”kommentteja/ehdotuksia/palautetta tekijöille.” Kysymykseen vastasi 14 henkilöä. Avatarista sanottiin esimerkiksi, että se ”ei ollut yhtä hyvä kuin muut visuaaliset” tehosteet ja ”korrespondenssi oikeiden kasvojen kanssa ei liikkeiden osalta ollut onnistunut”. Eräs vastaaja koki uintikohtauksen aaltoliikkeessä olleen outoa nykimistä. Yksi kehotti pohtimaan onko ”vaikean reaaliaikaisen tekniikan käyttö relevanttia”, kun monesta tehosteesta olisi saatu hienompia etukäteen tehdyillä videolla. Kokonaisuudessaan tehosteet nähtiin esimerkiksi ”liian voimakkaina”, mutta toisaalta myös toivottiin lisää visuaalisia tehosteita sijoitettavaksi näyttämön ulkopuolellekin. Eräs toivoi ”ääniohjautuvia” tehosteita.

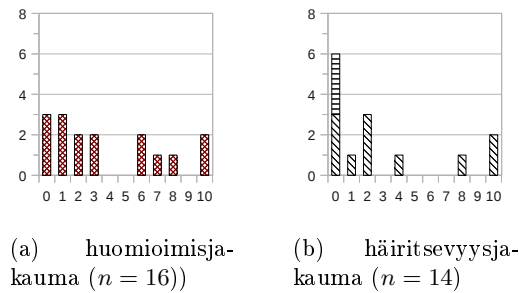
### 8.2.2 Projisointi

Kyselyn toisen osan kysymyksillä pyrittiin selvittämään kolmea projisointiin liittyvää katsomiskokemusta mahdollisesti häiritsevää tekijää. Nämä mahdolliset häiriöt olivat: parallaksi-ilmiön aiheuttama virtuaalilavastuksen aukot, näyttelijöihin osuva projisointi ja näyttelijöistä jäävät varjot. Toinen osa tehtiin tätä produktiota varten, sillä edellisessä produktiossa visuaalinen materiaali projisoitiin vain näyttelijöiden yläpuolelle näyttämön taustalle. Toinen osa jaettiin vain viimeisessä esityksessä aikataulullisista syistä, ja vastauksia kertyi 16. Kyselylomake löytyy liitteestä B.

#### Aukot projisoinnissa

Parallaksi-ilmiön takia katsojat näkivät lavasteet eri lailla kustakin istumapaikasta. Kuvassa 6.6 esitetyllä alueella istuneet katsojat näkivät kaiken näyttöpinta-alan projisoituna, mutta alueen ulkopuolella istuneet näkivät myös lavasteiden varjostamaa,





Kuva 8.2: Virtuaalilavastuksen aukkokysymysten jakaumat.

projisoimatonta näyttöpinta-alaa.

Ilmiön häiritsevyyden selvittämiseksi katsojilta kysyttiin paljonko he kiinnittivät huomiota ”projisointikuvan aukkoihin” ja ”paljon aukot” häiritsivät. Aukoilla tarkoitettiin projisoinnin varjoja. Arviointiasteikoksi annettiin nolasta (”ei yhtään”) kymmeneen (”paljon”). Istumapaikan vaikutuksen arviointia varten katsojia pyydettiin merkitsemään istumapaikkansa katsomokarttaan.

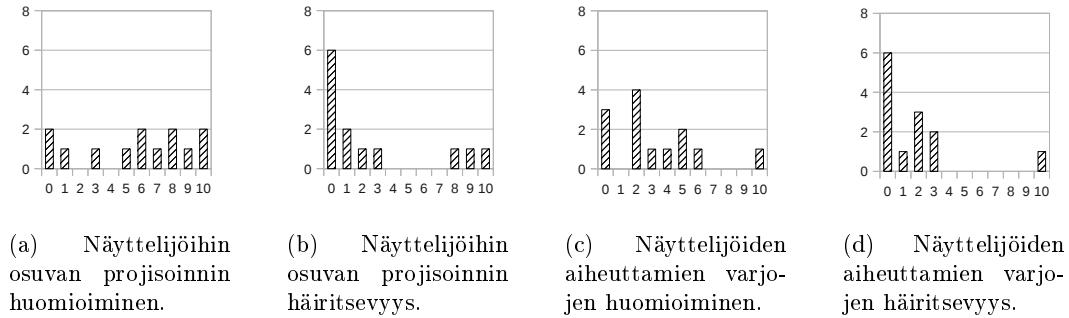
Istumapaikan perusteella arvioitiin istumapaikan laatua mittaava arvo kullekin katsojalle asteikolla nolasta viiteen. Nolla tarkoitti aluetta, jossa aukkoja ei voinut havaita. Viisi tarkoitti pahimpia mahdollisia kohtia eli katsomon etukulmia.

Kuvassa 8.2 on esitetty huomaamis- ja häiritsemiskysymyksiä vastausten jakaumat sekä vastausten kertymät. Kolme viidestä häiritsevyysskysymykseen vastaamatta jättäneistä olivat kuitenkin huomanneet aukot, joten heidän häiritsevyyden arvioksi on oletettu nolla. Nämä kolme ovat merkitty kuvaan 8.2b erillisenä joukkona.

Istumapaikan laatua mittaavan muuttujan ja vastausten suhteen ei ollut minkäänlaista korrelaatiota. On kuitenkin syytä huomioida, että otos oli vain 15 vastausta. Lisäksi kysymys oli mahdollista tulkita eri tavoin, koska termiä ”aukko” ei määritelty kyselyssä tarkemmin. Katsojat ovat voineet kuvitella sen tarkoittavan fyysisten lavasteiden keskellä olevaa ”näyttelytilaa”, kuvan vääristymää, projisointipintojen syvyysuuntaisia välejä, projisoinnin varjoja tai jopa ajallista väliä. Kokonaisvaltaisen arvioinnin näkökulmasta ongelmana on myös kysymyksen asettelu, joka liittyi vain ratkaisun ongelmaluonteeseen, eikä kokonaiseen ratkaisuun hyvinä ja huonoine puolineen.

### Näyttelijöiden sijainti projisointikiilassa.

Valitussa projektioavasta johtuen näyttelijät olivat lähes koko ajan projisointikiilassa. Projektorit olivat korotetussa asemassa suhteessa näyttämöön, mutta kulma oli niin pieni, että käytännössä näyttelijän seisossa näyttämöllä he osuivat aina projisi-



Kuva 8.3: Katsojien arvioiden jakaumat näyttelijöiden olemisesta projisointikiilassa ( $n = 13$ );

sointikiilaan. Projisointikiilassa olemisesta aiheutuu kahdenlaista visuaalista virhetä. Ensinnäkin näyttelijöihin osui projisointia, joka liikkui epämääräisesti näyttelijän liikkuesssa. Toisekseen näyttelijöiden kehot aiheuttivat varjoillaan aukkoja virtuaalilavastukseen.

Lomakkeessa kysyttiin katsojilta molemmista ongelmista paljonko he ”kiinnittivät huomiota” ja ”paljonko [ongelma] häiritsi”. Arviointiasteikoksi annettiin nollassa (”ei yhtään”) kymmeneen (”paljon”). Vastauksia saatiin näihin kysymyksiin kuhunkin 13.

Kuvassa 8.3 on esitetty huomio- ja häiritsemiskysymyksien vastausten jakaumat. Valtaosa katsojista huomioi niin projisoinnin osumisen näyttelijöihin kuin myös varjotkin. Häiritsevyyttä kysyttäessä vastaukset painottuvat asteikon alkupäähän.

Näyttelijöihin osuva projisointi näyttäisi häiritsevän katsojia enemmän kuin varjot virtuaalilavasteissa. Varjojen häiritsevyyden keskiarvo oli 1,8, kun näyttelijöihin osuvan projisoinnin häiritsevyyden keskiarvo oli 2,6. Molemmat ovat kohtuullisen alhaisia. Vain yksi vastaaaja arvioi varjojen häiritsevyyden asteikon yläpäähän. Näyttelijöihin osuvan projisoinnin suhteen kuitenkin 23 prosenttia arvioi häiritsevyyden asteikon yläpäähän.

### 8.3 Tekninen toimivuus

Tässä osassa arvioidaan tehtyä esitysympäristöä, projisointiratkaisua ja toteutettuja tehosteita.

Kokonaisuudessaan tehostetoteutus oli toimiva. Esitykseen pystyttiin luomaan jatkuva virtuaalinen lavastemaailma, joka levittäytyi näyttämölle kokonaisvaltaisesti. Suunnitelluista vuorovaikutuksellisia tehosteita ehdittiin kuitenkin toteuttaa vain pieni osa.

### 8.3.1 Esitysympäristö

Kokonaisuudessaan toteutettu esitysympäristö ja -järjestelmä täytti asetetut vaatimukset. Järjestelmän modulaarisuus, osajako, ja fyysinen sijoittelu toimivat hyvin.

### Kuvantamisjärjestelmä

Yhden ohjelman käyttö koko esityksen kuvantamiseen mahdollisti tehosteiden yhdistelyn, pehmeät muutokset tehosteesta toiseen ja jatkuvan projisoinnin ilman katkoksia esimerkiksi kohtausten välillä.

Lähtökohdiltaan VirChorin käyttö ei ollut optimaalinen valinta tehosteiden pohjaksi, mutta ei aiheuttanut merkittäviä ongelmia. Ilman kasvomallien tuomaa ”pakollista” VirChorin käyttöä oltaisiin pohjana käytetty todennäköisesti jotain yleisemmin käytettyä näkymägraafisysteemiä, jossa esitysjärjestelmältä tarvittavia ominaisuuksia olisi ollut valmiina.

Komponenttijärjestelmällä saatiin aikaiseksi modulaarinen rakenne, johon oli yksinkertaisen rajapinnan takia helppo lisätä OpenGL:ää suoraan käyttäviä tehosteita. Toteutettu viestiarkkitehtuuri, jossa komponenttijärjestelmä kohdensi ja ajoitti komennot komponenteille, oli toimiva. Yksinkertainen tekstipohjainen kerroksellinen viestirakenne loi hyvän alustan laajentaa komentorepertuaaria jokaiselle komponentille erikseen. Komentojen luominen Pure Datassa ja parsiminen komponenteissa oli helppoa, joten tehosteita oli helppo ohjata TCP-yhteyden yli yksinkertaisilla komendoilla. Olennaiseksi muodostui mahdollisuus ryhmitellä ja ajoittaa komentoja. Näin tehosteiden ohjausta voitiin automatisoida myös käyttöliittymän puolelle.

### Käyttöliittymä

Pure Datan käyttäminen graafisena ohjausjärjestelmänä oli erittäin toimiva ratkaisu. Pure Datalla oli helppo tuottaa selkeä ja helppokäyttöinen graafinen käyttöliittymä, joka lähetti tehostemiehen vuorovaikutuksen yksittäisinä viesteinä muulle järjestelmälle. Käyttöliittymään oli helppo lisätä eri toimintoja, toteuttaa ohjauslogiikkaa ja muokata tehosteiden parametreja sekä ohjauslogiikkaa niin sanotusti lennossa. Kasvoseurannan ohjaustarve oli niin pientä, ettei erillinen käyttöliittymä haitannut.

### 8.3.2 Projisointi

Projisointiratkaisu toimi teknisesti hyvin. Kuva saatiin kohdistettua näyttöpintoihin tarkasti, kuva oli kirkas ja tarpeeksi tarkka. Merkittävimmät ongelmat olivat näyttelijöiden luomat varjot ja näyttelijöihin osuva projisointi. Kummankaan poistaminen

ei ollut tavoitteissa kovin korkealla, joten projisointiratkaisu oli toimiva, kun sitä suhteuttaa tavoitteisiin ja rajoitteisiin.

Projisointipintojen fyysinen sijoittelu mahdollisti kokonaisvaltaisen tehosteiden läsnäolon verrattuna vain näyttämön takaseinälle projisointiin. Projisointipintojen ja näyttelijöiden oleminen lomittain aiheutti kuitenkin projisoinnin osumista näyttelijöihin ja varjoja näyttöpaneeliin. Projektorien sijoittamisrajoitteiden takia näyttelijät olivat paljon projisointikiilassa. Sijoittamalla projektorien projisointikiilat ristteemään voitiin kuitenkin lavasteiden välistä varjostusta vähentää merkittävästi ilman haittavaikutuksia.

### **Projisointikorjaus**

Kulmapisteiden sijoittaminen apuohjelmalla projektorin kuvaan oli helppoa. Vain toisten näyttöpintojen taakse jäivät kulmapisteet olivat hivenen hankalampia sijoittaa tarkasti. Projisointikorjauksen merkittävin puute oli pieni vuotaminen edeltävään tai taaempaan näyttöpintaan. Projisointikorjauksessa ei ollut mahdollista erottaa paneeleita projektorikuvassa pienellä marginaalilla, joten oli lähes mahdotonta asettaa projisointi näyttöpintaan siten, ettei edellisen näyttöpinnan reunimmat pikselit osuneet vähän edeltävään tai taaempaan näyttöpintaan. Tämä ongelma oli selkeästi näkyvissä vain harvassa kohtauksessa, eikä siitä maininnut kukaan.

### **Kuvallinen tavoite**

Valittu kuvallinen tavoite mahdollisti näyttämön täyttämisen helposti kokonaisuuk- silla ja oli toimiva. Ohjaaja olisi halunnut avatartehosteiden näkyvän vain kolman- nessa rivissä, mutta toteutettu järjestelmä ei tukenut tällaista vaihtoehtoa. Näyttö- pintojen käyttö itsenäisinä olisi lisännyt sijoitteluun ja tehosteisiin tarvittavaa työ- määrää.

### **8.3.3 Visuaaliset tehosteet**

Tehosteista huomattava osa toteutettiin aikapulan vuoksi esitallennetun videon tois- tamisella. Videotoistoratkaisu oli toimiva, joskin siitä löytyi kaksi pientä virhettä, jotka vaikuttivat esityksiin. Kuvantamiskoneen hitauden takia kovin korkearesoluu- tioisia videoita ei voitu käyttää. Tosiakaisista toteutuksista kohtauksen 9 aaltote- hoste ja kohtauksen 11 muistoryöpyt toimivat teknisesti loistavasti.

### Videoiden käyttö

Videototeutus vähensi mahdollisuuksia ajoittaa tehosteita tarkasti. Esimerkkinä voidaan mainita puutarhan luonti (kohtaus 5), jossa heiluvien kasvien haluttiin lakastuvan Benzedrinin kaapatessa Gillin. Heiluvien kukkien lakastuttaminen tarkassa kohdassa videoita leikkaamalla ei olisi onnistunut tyylikkäästi. Toisena hyvänä esimerkkinä olivat liikkuvat kukat ja Benzedrinin hallusinaatiot kohtauksessa 10; kukkien liikettä ei voinut kontrolloida näyttelijöiden kulkuun ja hallusinaatioiden ajoittaminen ei osunut täysin oikein. Myös joitain tehosteiden ominaisuuksia olisi ollut helpompi muokata tosiaikaisessa toteutuksessa parametrien muutoksilla.

Videoiden käyttö olisi voinut mahdollistaa visuaalisesti todella upean materiaalin. Videot kuitenkin tehtiin tosiaikaisten tehosteiden suunnitelmien, grafiikan ja keskenräisten tehosteiden pohjalta, jolloin niiden ulkonäkö oli varsin lähellä tosiaikaisesti tehtyä grafiikkaa. Tosiaikaisen grafiikan käytöllä tehosteet olisi saatu toteutettua tarkemmalla resoluutiolla ja tiheämmällä päivitysvälillä. Tällä olisi voinut olla merkitystä varsinkin puutarhan liikkuvien kohteiden suhteen.

Osassa kohtauksia videoiden käytöllä ei kuitenkaan ollut mitään haittavaikutuksia, eikä tosiaikaisesta toteutuksesta olisi ollut mitään iloa. Tällaisia tehosteita olivat viivan ilmestyminen taustalle kohtauksessa 6 ja radiotehoste kohtauksessa 8.

### Avatartehosteet

Avatartehosteiden ongelmaksi nousi huono korrelaatio laulajan ja avatarin suun liikkeen suhteen sekä ulkonäöllinen vajavaisuus. Korrelaation ongelmana oli merkittävämpänä seurauksen hitaus ja vähäisempänä suun liikkeen rajoittuneisuus.

Suun seurauksen viive johtui pääosin alipäästösuo-datuksesta, jota jouduttiin käyttämään huulten reunojen mittauksessa olevan kohinan saamiseksi siedettävälle tasolle. Gillin avatarin kohdalla ongelma oli isompi, koska rikkoutunut kamera jouduttiin korvaamaan viime hetkillä kameralla, jolta saatiin käsittelyyn vain noin 12 kuvaa sekunnissa. Gillin suu seurasi noin 0,4 sekunnin viipeellä, mutta alipäästösuo-datus poisti kokonaan nopeat ääri-asennot. Myös verkon viive ja VirChorin kuvan päivitysviive aiheutti mahdollisesti pienen lisän viipeeseen.

Avatartehosteiden graafisen näyttävyyden ongelmana oli viimeistelemätön visuaalinen ilme, ja suun mallintamisen rajoitteet. Suu aukesi vain pystysuunnassa, vaikka normaalissa laulussa huulet muodostavat monia erilaisia viseemeitä. Lisäksi hampaat ja kieli puuttuivat kokonaan. Myös kasvojen muiden ilmeiden puuttuessa Benzedrinin avatarhahmo oli hyvinkin kliinisen näköinen esityksen traagisimmilla hetkillä.

Toteutettu kasvojen liikemallinnus-algoritmi oli varsin herkkä kasvojen käännöl-

le. Kasvoja piti kuvata hieman alaviistosta sierainhakua varten, jolloin OpenCV:n kasvohaun tarkkuus kärsi. Näyttelijä ei voinut liikkua vapaasti kameran edessä, sillä kasvot oli pidettävä kohtalaisen pystyasennossa ja kameraan päin. Näin täysin näyttelijää kuormittamattomaksi tarkoitettu tehoste pakotti näyttelijän kuitenkin keskittymään vuorovaikutukseen. Gillin näyttelijä harjoitteli rajoitteiden opetteluun harjoitusmahdollisuuden puutetta (Ikonen 2009).

## 8.4 Tehosteiden suunnitteluprosessi

Kirjoittajan mielestä vuorovaikutus taiteellisista tavoitteista ja teknisestä mahdollisuuksista toimi hyvin. Tehosteiden kehittämisessä ongelmaksi muodostui kuitenkin jo kohdassa 8.1 mainittu projektin osien toteutusten venyminen ja työvaiheiden sotkeutuminen. Myös epäselvät vastuujaoit aiheuttivat viivästymisiä ja muutoksia tehosteisiin liittyvissä päätöksissä. Suunnitelmaa ei myöskään priorisoitu selkeästi missään vaiheessa, joten vain muutama tehoste oli tavoitteissa mukana alusta asti.

Oopperan kehitysprosessissa ei myöskään huomattu käyttää säveltäjien omaamaa aikaista tietoutta teoksen kulusta. Näin toteutettavien tehosteiden määrittely jäi hyvin myöhäiseen vaiheeseen huolimatta tavoitteesta kehittää tehosteita pidemmän ajan kuluessa rinnan oopperan muun kehitysprosessin kanssa.

Alkuperäisen suunnitelman mukaisesti lavastajien tuli mallintaa virtuaalisia lavasteita tai kuvantaa osia niistä. Lavastuksen uusintasuunnittelut söivät kuitenkin lavastajien aikaa. Lisäksi kirjoittaja arvioi osan tehosteista onnistuvan paremmin tosiaikaisesti animoituna. Osa tehosteista luotiin hyvin myöhään, jolloin niiden viimeistelyyn ei jäänyt aikaa.

Merkittävimmät ongelmat visuaalisten tehosteiden suhteen olivat järjestelmän ja videotehosteiden myöhäinen valmistuminen. Tehosteita ei ehditty muokkaamaan ohjaajan toiveiden mukaisesti, eivätkä näyttelijät päässeet harjoittelemaan tehosteiden ohjausta. Teknisellä puolella integraatiotestaus jäi myös liian vähäiseksi.

## Luku 9

# Yhteenveto ja pohdinta

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää keinoja toteuttaa esitykseen luontevasti sopivia visuaalisia tehosteita, jotka tekisivät esityksestä vaikuttavamman. Tutkimuksen teoreettinen osa koostui kolmesta osasta: aikaisemman tutkimuksen ja toteutusten selvittely, tosiaikaisen kuvantamisen mahdollisuudet sekä vuorovaikutuskeinot.

Selvityksessä ilmeni, ettei vuorovaikutteisten tehosteiden käyttö ole kovin yleistä näyttämötaiteessa. Vuorovaikutteisista tehosteista on tehty varsin vähän tutkimuksia teknisestä näkökulmasta, tai hyvin dokumentoituja käyttötapauskuvauksia. Vuorovaikutteiset tehosteet on mahdollista toteuttaa tosiaikaisella grafiikalla, joka voidaan saada erittäin näyttäväksi nykyaikaisten grafiikkakiihdyttimien laskentatehoilla. Grafiikkakiihdyttimet mahdollistavat myös tosiaikaisen kuvan anamorfisen korjauksen erilaisiin projisointi- sekä näyttöpinta-asetteluihin. Lisäksi näyttämötaiteisiin soveltuvia näyttelijöiden seurantamenetelmiä sekä rekvisiitaksi naamioitavissa olevia teknisiä ohjaus- ja seurantalaitteita on paljon, joista jotkut ovat verrattain halpoja.

Kokeellisessa osuudessa luotiin oopperaesitykseen vuorovaikutteisia tehosteita käyttäen hyväksi teoriaosuudessa selvitettyjä menetelmiä. Oopperan tuotantoprosessin ongelmien takia vuorovaikutteisia tehosteita tehtiin vain neljä kappaletta.

Kaksi tehosteista koostuivat avatareista, joiden suut seurasivat näyttelijöiden laulua. Avatarit toteutettiin MARC-kasvomalleilla. Seuranta toteutettiin diplomityössä kehitetyllä liikemallinnusmenetelmällä, joka erotti kuvasta huulten pystysuuntaisen avonaisuuden. Kahta muuta vuorovaikutuksellista tehostetta ohjasi tehostemies: toinen esitti liikkuvaa vettä ja toinen koostui erilaisista kuvasarjoista. Vesitehoste toteutettiin simuloimalla jousiverkkoa.

Vuorovaikutteisia tehosteita ja esityksessä ollutta kokonaista virtuaalilavastusta varten toteutettiin esitysympäristö. Esitysympäristö koostui projisointi-, ohjaus- ja

liikemallinnusosasta. Projisointia varten tehtiin esitysjärjestelmä, joka kuvansi tehosteet anamorfisesti projisoitaviksi näyttämölle kahden projektorin avulla. Ohjausjärjestelmänä käytettiin Pure Datalla tehtyä käyttöliittymää, jolla ajoitettiin koko virtuaalinen lavastus sekä kaikki tehosteet. Liikemallinnusosa koostui kahdesta kamerasta ja erillisellä tietokoneella ajetusta liikemallinnusohjelmasta.

### **Vuorovaikutteiset tehosteet**

Tutkimuksen aikana ilmeni vuorovaikutuksellisille tehosteille olevan kysyntää ja potentiaalia oopperatuotannossa. Kehitysprosessin aikana taiteellinen ryhmä halusi moniin kohtauksiin jatkuvaa liikettä sisältävää virtuaalista lavastusta, jonka muutoksia voitaisiin ajastaa niin tunnelman muutoksissa kuin kohtausten vaihdoissa. Tällaisten tehosteiden tosiaikaisten muutosten toteuttaminen esitallennettuna olisi ollut mahdotonta.

Viimeistellymmät vuorovaikutteiset tehosteet keräsivät kiitosta ja mielenkiintoa niin yleisöltä kuin taiteelliselta ryhmältä. Vuorovaikutteisilla tehosteilla pystyttiin luomaan lavasteita, jotka ajoittuivat hyvin esityksen kulkuun ja pystyivät tuomaan taiteellista lisäarvoa halutun tunnelman välittäjinä. Esitallennetuilla tehosteilla saatiin aikaan ohjaajaa tyydyttävä graafinen ilme, mutta ajoittamiseen liittyvät ongelmat rajoittivat taiteellisen lisäarvon tuomista.

Katsojakyselyn perusteella ei voida sanoa tehosteiden tuoneen merkittävää lisäarvoa oopperaan, joskaan ne eivät sitä pilanneetkaan. Produktiossa toteutetut tehosteet olivat ulkonäöltään varsin yksinkertaisia verrattuna jopa tosiaikaisten grafiikan mahdollisuuksiin. Lisäksi vain pienessä osassa käytettiin vuorovaikutuksen mahdollisuuksia hyväksi. Näin ollen on hyvinkin mahdollista, että vuorovaikutteisuuden mahdolliset hyödyt jäivät osittain käyttämättä, mutta mahdolliset haittavaikutukset graafisen näyttävyyden vähentymisenä näkyi jo kokonaisuudessaan.

### **Vuorovaikutustavat**

Vuorovaikutteisen tehosteen ohjaustavan valinnassa on monia näkökulmia. Olennaista on tietenkin kuinka tarkka vaste tehosteelta halutaan musiikkiin tai näyttelijän toimiin. Tehostemiehen on vaikeaa tai mahdotonta ohjata jatkuvia, improvisoituja tai useampaa yhtäaikaista seurantaa vaativia tehosteita. Toisaalta näyttelijälle säilytetty ohjausvastuu voi haitata hänen muuta esiintymistään. Luotettavan seurantarjestelmän toteuttaminen voi olla paljon vaativampaa kuin sopivan käyttöliittymän luonti tehostemiehelle, mutta kankea tehostemiehen ohjaus voi rajoittaa näyttelijän toimia tai pakottaa hänet muistelemaan tapahtumien järjestystä.



Produktiossa katsojat eivät juurikaan erottaneet automaattisen seurannan tai ohjausmiehen ohjaamia tehosteita toisistaan. Otos on kyllä pieni, mutta antaa viitettä tosiaikaisen grafiikan ja tehostemiehen ohjauksen riittävän moniin käyttötarkoituksiin. Yhdistelmän arvioitiin riittävän suurimpaan osaan kehitysprosessissa visioiduita tehosteista.

Esimerkkinä olkoon visioitu puutarhan luonti kohtaukseen 5, jossa Gill olisi luonut puutarhaan kukkia käden ojennuksellaan. Seurantajärjestelmällä vuorovaikutus olisi saatu hyvin tarkaksi, mutta toisaalta tehostemies olisi voinut ohjata tehosteen käden yleisen suunnan perusteella hyvin lähelle oikeaa sijaintia. Uskottavan tuloksen saamiseksi käden liikkeen olisi ehkä pitänyt olla vähän epämääräisempi, jolloin toteutustavan valinnassa olisi pitänyt pohtia toteutuksen vaativan panoksen suhdetta taiteellisen nyanssin eroon. Näyttelijän kannalta valinnalla tuskin olisi ollut juurikaan eroa.

Toisaalta osa visioiduista tehosteista olisivat selkeästi hyötyneet seurantajärjestelmästä. Esimerkiksi kohtauksen 9 vesitehosteen kohdalla automaattinen seurantajärjestelmä olisi tuonut aidommalta näyttävän vuorovaikutuksen veden ja kuorolaisten välille, sekä mahdollistanut monimutkaisemman koreografian.

Osa visioiduista tehosteista ei olisi voitu toteuttaa ilman automatisoitua seurantajärjestelmää. Esimerkiksi produktioon toteutetut avatartehosteet olisivat olleet mahdottomia ilman seurantajärjestelmää. Taiteellinen ryhmä piti avatartehosteiden ideaa hyvänä, mutta toteutuksen puutteiden vuoksi tehosteessa ollut mahdollinen potentiaali jää spekulaaation tasolle. Vain muutama katsoja ylipäättään huomasi yhteyden laulajaan.

### **Graafinen ilme**

Katsojat ja taiteilijat asettivat varsin korkeat odotukset tehosteiden grafiikalle. Tähän arvioidaan olleen ainakin kaksi syytä. Ensinnäkin kokonaisen virtuaalisen laivastuksen merkitys näyttämökuvaan on valtava. Toisekseen ihmiset ovat tottuneet todella näyttävään tietokonegrafiikkaan animaatioelokuvissa ja myös näyttämötaiteessa käytetyissä esitallennetuissa tehosteissa.

Produktion graafisen ilmeen puutteet häiritsivät monia katsojia, joista osa arvioi sen johtuvan vuorovaikutteisuudesta. Graafisen ilmeen puutteet johtuivat kuitenkin paljolti resurssien puutteesta ja kehitysprosessin ongelmista. Esimerkiksi hieman samantyylisessä produktiossa "Digital Dreams" tehosteiden kehityksessä toimi ainakin kaksinkertainen määrä ihmisiä (Ferris 2006).

Projisoinnin osalta näyttelijöihin osuva projisointi voidaan katsoa olevan häiritse-

vä. Projisointipintojen sijoittaminen ympäri esitystilaa luo siten hyvin haasteellisen projisointiympäristön. Ongelmaa voisi lähestyä näyttelijöiden dynaamisella maskaamisella. Näyttelijöiden jättämien varjojen kohdalla olisi voitu käyttää dynaamista varjojen poistoa. Näyttämön monet limittäiset näyttöpinnat olisivat olleet kuitenkin aika haastava ympäristö näille tekniikoille.

### **Kehitysprosessi**

Ooppera on monitaiteellinen ja tekninen kokonaisuus, joka vaatii yhteistyötä monien tahojen kesken. Kehitysprosessissa havaitut vastuunjako-ongelmat johtuivat mahdollisesti osittain produktion lähtökohdista: produktion yhtenä merkittävänä lähtökohdiana oli tekniikan kokeileminen, mutta päämääränä oli ainakin jossain määrin taiteellisesti tinkimätön teos.

Produktion jälkeen ohjaaja painotti tarvetta kokeilla tehosteita osana taiteilijoiden ja teknisten osajien vuorovaikutusta. Ohjaaja koki tehosteiden olemuksen olevan laivasteiden ja näyttelijöiden välimaastossa. Tämä johti toiveeseen tehdä muokkausta ja kokeiluita etenkin näyttämöllepanon kokeilun aikana, mutta myös harjoitusten aikana. Tehosteiden muokkaaminen voi olla kuitenkin paljon hitaampaa kuin kokeiluttaa näyttelijöillä erilaisia vaihtoehtoja.

### **Seurantatekniikat**

Produktiossa arvioitiin pääosin vain kameran avulla toimivia seurantajärjestelmiä. Monissa tapauksissa seurantajärjestelmät olisivat ehkä helpommin ja luotettavammin toteutettavissa näyttelijöiden kantamien ja näyttelijöihin kiinnitettävien mittalaitteiden avulla. Kannettavat mittalaitteet voidaan naamioda rekvisiitaksi, kuten taikasauvaa käytettiin Burke:n (2002) esittelemässä produktiossa ”Macbett”. Kiinnitettävät mittalaitteet taas voidaan piilottaa esimerkiksi vaatteisiin, kuten Kajastila & Takala (2008) ehdottaa.

# Lähdeluettelo

- Kevin Abbott. 2007. *Giving New Power to an Old Story*. Teoksessa *Live Design*, osa 41 (8), s. 36. ISSN 1559-2359.
- J. Ahlberg. 2001. *Candide3 - An Updated Parametrised Face*. Tekninen raportti LiTH-ISY-R-2326, Dept. of Electrical Engineering, Linköping University, Linköping, Ruotsi.
- A-Nasser Ansari & Mohamed Abdel-Mottaleb. 2005. *Automatic facial feature extraction and 3D face modeling using two orthogonal views with application to 3D face recognition*. Teoksessa *Pattern Recognition*, osa 38 (12), s. 2549. ISSN 0031-3203.
- Art + Com. 2005. *Jew of Malta esityksen vuorovaikutustekniikan esittely*. Internet. Saatavissa: [http://www.artcom.de/index.php?option=com\\_acprojects&page=6&id=29&Itemid=115&details=0&lang=en](http://www.artcom.de/index.php?option=com_acprojects&page=6&id=29&Itemid=115&details=0&lang=en), viitattu 5.1.2010.
- Olli Attila. 2006. *Digitaaliset tehosteet oopperatuotannossa*. diplomityö, Tietotekniikan osasto, Teknillinen korkeakoulu, Suomi.
- S. Audet & J.R. Cooperstock. 2007. *Shadow Removal in Front Projection Environments Using Object Tracking*. Teoksessa *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, s. 1–8.
- Oliver Bimber, Andreas Emmerling & Thomas Klemmer. 2005. *Embedded Entertainment with Smart Projectors*. Teoksessa *Computer*, osa 38, s. 48. ISSN 0018-9162.
- Oliver Bimber, Anselm Grundhofer, Thomas Zeidler, Daniel Danch & Pedro Kapakos. 2006. *Compensating Indirect Scattering for Immersive and Semi-Immersive Projection Displays*. Teoksessa *Virtual Reality Conference 2006*, s. 151–158. ISSN 1087-8270.

- Oliver Bimber, Daisuke Iwai, Gordon Wetzstein & Anselm Grundhöfer. 2008. *The Visual Computing of Projector-Camera Systems*. Teoksessa *Computer Graphics Forum*, osa 27 (8), s. 2219. ISSN 0167-7055.
- George Borshukov, Dan Piponi, Oystein Larsen, J. P. Lewis & Christina Tempelaar-Lietz. 2005. *Universal capture – image-based facial animation for "The Matrix Reloaded"*. Teoksessa *SIGGRAPH '05: ACM SIGGRAPH 2005 Courses*, s. 16. ACM, New York, NY, USA.
- Jean-Yves Bouguet. 2000. *Pyramidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker Description of the algorithm*. Tekninen raportti, Microprocessor Research Labs, Intel Corporation. OpenCV dokumentit.
- Jeff Burke. 2002. *Dynamic Performance Spaces for Theatre Production*. Teoksessa *TD & T - Theatre Design & Technology*, osa 38, s. 26. ISSN 1052-6765.
- Robert Cashill. 2009. *Shrek The Musical On Broadway: Part 1, Costumes And Sets*. Teoksessa *Live Design*, osa 43 (3). ISSN 1559-2359.
- Tat-Jen Cham, J.M. Rehg, R. Sukthankar & G. Sukthankar. 2003. *Shadow elimination and occluder light suppression for multi-projector displays*. Teoksessa *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, osa 2, s. II – 513–20 vol.2. ISSN 1063-6919.
- Mark Coniglio. 2004. *The importance of being interactive*. Teoksessa *New visions in Performance*, s. 5–12. Swets & Zeitlinger B.V., Lisse, Alankomaat. ISBN 1570-7393.
- T.F. Cootes, G.J. Edwards & C.J. Taylor. 2001. *Active appearance models*. Teoksessa *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, osa 23 (6), s. 681. ISSN 0162-8828.
- Matthieu Courgeon, Jean-Claude Martin & Christian Jacquemin. 2008a. *MARC: a Multimodal Affective and Reactive Character*. Teoksessa *Proceedings of The 1st workshop on Affective Interaction in Natural Environments (AFFINE 2008)*.
- Matthieu Courgeon, Jean-Claude Martin & Christian Jacquemin. 2008b. *User's gestural exploration of different virtual agents' expressive profiles*. Teoksessa *AAMAS '08: Proceedings of the 7th international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems*, s. 1237–1240. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, Richland, SC. ISBN 978-0-9817381-2-X.

- Crudible Studio. 2008. *Turing Machine-oopperan esittely*. Internet. Saatavissa: <http://crucible.mlog.taik.fi/productions/turing-machine/>, viitattu 20.4.2010.
- Hugh Denard. 2004. *Performing the Past: The Virtual Revolution in Performance History*. Teoksessa *Performing Arts Resources*, osa 24, s. 54. ISSN 0360-3814.
- Zhigang Deng & Junyong Noh. 2007. *Computer Facial Animation: A Survey*. Teoksessa *Data-Driven 3D Facial Animation*, toimittanut Zhigang Deng & Ulrich Neumann, luku 1, s. 1–28. Springer London. ISBN 978-1-84628-906-4.
- Steve Dixon. 2007. *Digital Performance: A History of New Media in theater, dance, performance art, and installation*. MIT Press. ISBN 978-0-262-04235-2.
- Neil Dodgson. 2005. *Autostereoscopic 3D Displays*. Teoksessa *IEEE Computer*, osa 38 (8), s. 31. ISSN 0018-9162.
- Marielle Eklund-Vasama. 2009. *Okko Welin; Marielle Eklund-Vasaman haastattelu 6.4.2009*. Helsinki, Suomi.
- I. Essa, S. Basu, T. Darrell & A. Pentland. 1996. *Modeling, tracking and interactive animation of faces and heads using input from video*. Teoksessa *Proceedings of Computer Animation '96*, s. 68–79.
- Lesley Ferris. 2006. *Digital Dreams: Sleep Deprivation Chamber*. Teoksessa *The Potentials of Spaces*, toimittanut Allison Oddey & Christine White, luku 5, s. 69–83. Intellect Books, Bristol, Iso-Britannia. ISBN 1-84150-137-9.
- ffmpeg. 2010. *ffmpeg-kirjaston websivu*. Internet. Saatavissa: <http://ffmpeg.org/>, viitattu 16.4.2010.
- FogScreen. 2010. *FogScreen yhtiön websivu*. Internet. Saatavissa: <http://fogscreen.fi>, viitattu 20.4.2010.
- Richard Hartley & Andrew Zisserman. 2003. *Multiple view geometry in computer vision*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Sue Hawksley & Simon Biggs. 2006. *Memory maps in interactive dance environments*. Teoksessa *International Journal of Performance Arts and Digital Media*, osa 2, s. 123. ISSN 1479-4713.
- Kari Heiskanen. 2010. *Kukkaistyttö (näytelmä)*. Ohjaus. Ensi-ilta Helsingin kaupunginteatteri, Helsinki 28.1.2010.

- Erik Hjelmås & Boon Kee Low. 2001. *Face Detection: A Survey*. Teoksessa *Computer Vision and Image Understanding*, osa 83 (3), s. 236. ISSN 1077-3142.
- Aili Ikonen. 2009. *Re: Kysely kyborgioopperan tekniikan vaikutuksista esiintymiseen*. Yksityinen vastaussähköpostiviesti Okko Welinille. 19.4.2009.
- Tommi Ilmonen & Tapio Takala. 1999. *Conductor following with artificial neural networks*. Teoksessa *1999 International Computer Music Conference*, s. 367–370. Tsinghua University ja JC Public relations & Development Ltd., Peking, Kiina.
- ISO. 2002. *Overview of the MPEG-4 Standard*. Internet. Saatavissa: <http://mpeg.chiariglione.org/standards/mpeg-4/mpeg-4.htm>, viitattu 7.4.2010.
- Yuri Ivanov, Aaron Bobick & John Liu. 1998. *Fast lighting independent background subtraction*. Teoksessa *IEEE Workshop on Visual Surveillance*, s. 49–55.
- Christian Jacquemin & Georges Gagneré. 2006. *Revisiting the layer/mask paradigm for augmented scenery*. Teoksessa *International Journal of Performance Arts and Digital Media*, osa 2, s. 237. ISSN 1479-4713.
- David Johnson. 2006. *Peppaz Ghost*. Teoksessa *Live Design*, osa 40 (4), s. 10. ISSN 1559-2359.
- Raine Kajastila & Tapio Takala. 2008. *Interaction in Digitally Augmented Opera*. Teoksessa *ARTECH '08: Proceedings of the 4th International Conference On Digital Arts*, s. 216–219. Portuguese Catholic University, Porto, Portugali. ISBN 978-989-95776-3-3.
- Stefanie Kuhn. 2006. *Extended presence: The instrumental(ised) body in André Werner's Marlowe: The Jew of Malta*. Teoksessa *International Journal of Performance Arts and Digital Media*, osa 2, s. 221. ISSN 1479-4713.
- Johnny C. Lee, Paul H. Dietz, Dan Maynes-Aminzade, Ramesh Raskar & Scott E. Hudson. 2004. *Automatic projector calibration with embedded light sensors*. Teoksessa *UIST '04: Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology*, s. 123–126. ACM, New York, NY, USA. ISBN 1-58113-957-8.
- Rainer Lienhart & Jochen Maydt. 2002. *An Extended Set of Haar-Like Features for Rapid Object Detection*. Teoksessa *IEEE ICIP 2002*, s. 900–903.

- Simon Lock & Stewart Kember. 2006. *A support architecture for high dependability in digital performance and installation art*. Teoksessa *International Journal of Performace Arts and Digital Media*, osa 2, s. 87. ISSN 1479-4713.
- Tapio Lokki. 2003. *Keinotodellisuus-kurssin luentokalvot*. Teknillinen korkeakoulu, Suomi.
- B.K. Low & M.K. Ibrahim. 1997. *A fast and accurate algorithm for facial feature segmentation*. Teoksessa *Image Processing, 1997. Proceedings., International Conference on*, osa 2, s. 518–521.
- MARC. 2010. *Multimodel Affective and Reactive Character (MARC) websivu*. Internet. Saatavissa: <http://www.limsi.fr/Individu/courgeon/MARC/>, viitattu 5.4.2010.
- Olivier Martin, J. Adel, A. Huerta, Irene Kotsia, Arman Savran & Raphael Sebbe. 2005. *Multimodal caricatural mirror*. Teoksessa *eINTERFACE-2005*, s. 13–20. International Speech Communication Association. Saatavissa: <http://www.isca-speech.org/archive/einterface05/>.
- Paul Milgram, Haruo Takemura, Akira Utsumi & Fumio Kishino. 1994. *Augmented Reality: A Class of Displays on the Reality - Virtuality Continuum*. Teoksessa *SPIE: Telemanipulator and Telepresence Technologies*, osa 2351. Saatavissa: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.83.6861&rep=rep1&type=pdf>, viitattu 1.4.2010.
- Pekka Milonoff. 2008. *Kalavale (näytelmä)*. Ohjaus. Ensi-ilta Kom-teatteri, Helsinki 4.3.2009.
- Meeri Mäkäräinen. 2006. *Expressions of Emotion on an Animated Face Model*. diplomityö, Tietotekniikan osasto, Teknillinen korkeakoulu, Suomi.
- Nvidia. 2000. *TwinView Dual-Display Architecture*. Nvidia. Saatavissa: [http://www.nvidia.com/object/feature\\_twinview.html](http://www.nvidia.com/object/feature_twinview.html), viitattu 31.11.2008.
- OpenCV. 2008. *OpenCV v2.1 C++ reference manual*. Saatavissa: <http://opencv.willowgarage.com/documentation/cpp/index.html>, viitattu 20.12.2008.
- Rick Parent. 2002. *Computer animation : algorithms and techniques*. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco. ISBN 1558605797 9781558605794.

- Hanhoon Park & Jong-Il Park. 2004. *Invisible marker tracking for AR*. Teoksessa *Mixed and Augmented Reality, 2004. ISMAR 2004. Third IEEE and ACM International Symposium on*, s. 272–273.
- Frederic I. Parke & Keith Waters. 1996. *Computer facial animation*. A K Peters, Wellesley, Mass. ISBN 1568810148 9781568810140. ID: 34958743.
- Tapio Parkkinen. 2009. *Don Giovanni (ooppera)*. Ohjaus. Ensi-ilta Porin Ooppera, Pori 2.10.2009.
- Eric Pavey. 2007. *Ready for their Close-Ups*. Teoksessa *IEEE Spectrum*, osa 44 (4), s. 42. ISSN 0018-9235.
- Claudio Pinhanez & Aaron Bobick. 2002. *It/I: A Theater Play Featuring an Autonomous Computer Character*. Teoksessa *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, osa 11 (5), s. 536. ISSN 1531-3263.
- William Press, Saul Teukolsky, William Vetterling & Brian Flannery. 2007. *Numerical recipes: the art of scientific computing*. Cambridge University Press, New York, Yhdysvallat. ISBN 978-0-521-88068-8.
- Ramesh Raskar. 2000. *Immersive planar display using roughly aligned projectors*. Teoksessa *Proceedings of IEEE Virtual Reality*, s. 109–115.
- Ramesh Raskar. 2002. *Projector-based Three Dimensional Graphics*. väitöskirja, University of North Carolina, Yhdysvallat. Saatavissa: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.9.9008&rep=rep1&type=pdf>, viitattu 16.2.2010.
- Ramesh Raskar, Greg Welch, Matt Cutts, Adam Lake, Lev Stesin & Henry Fuchs. 1998. *The office of the future: a unified approach to image-based modeling and spatially immersive displays*. Teoksessa *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, SIGGRAPH '98*, s. 179–188. ACM, New York, NY, USA. ISBN 0-89791-999-8.
- Mark Reaney. 1996. *Virtual Scenography: The Actor, Audience, Computer Interface*. Teoksessa *TD & T - Theatre Design & Technology*, osa 32 (1), s. 36. ISSN 1052-6765.
- Mark Reaney. 1993. *Theater of Virtual Reality: Designing Scenery in an Imaginary World*. Teoksessa *TD & T - Theatre Design & Technology*, osa 29 (2), s. 29. ISSN 1052-6765.



- Mark Reaney. 1995. *Virtual Reality on Stage*. Teoksessa *VR World*, osa 3.
- Mark Reaney. 1998. *Virtual Reality Sprouts "Wings"*. Teoksessa *TD & T - Theatre Design & Technology*, osa 34 (2), s. 27. ISSN 1052-6765.
- Mark Reaney. 2000a. *Art in Real-Time*. Seminaarijulkaisu, *cirEN: Art-Science-Technologie*. Viitattu 10.11.2009. Saatavissa: <http://web.ku.edu/~mreaney/reaney/ciren/>.
- Mark Reaney. 2000b. *Digital Scenography: Bringing Theatre into the Information age*. Teoksessa *Arts et Numerique*, osa 1, s. 191. Saatavissa: <http://www2.ku.edu/~ievr/reaney/numerique/>, viitattu 28.03.2010.
- Mark Reaney. 2001. *Virtual Characters in Theatre Production: Actors and Avatars*. Teoksessa *VRIC, Virtual Reality International Conference*. Saatavissa: <http://web.ku.edu/~mreaney/reaney/dinos>, viitattu 1.9.2008.
- Mark Reaney, Delbert Unruh & Stephen Hudson-Mairet. 2004. *The Edge of the Illusion: A Virtual Reality Production of "The Magic Flute"*. Teoksessa *TD & T - Theatre Design & Technology*, osa 40 (4), s. 10. ISSN 1052-6765.
- David Saltz. 2001. *Live Media: Interactive Technology and Theatre*. Teoksessa *Theatre Topics*, osa 11 (2). ISSN 1054-8378.
- Scienstry. 2010. *Scienstry yhtiön websivu, LCD Switchable Film/Glass/Projection Screen*. Internet. Saatavissa: <http://www.scienstry.us>, viitattu 20.4.2010.
- William Sherman & Alan Craig. 2003. *Understanding virtual reality : interface, application, and design*. Morgan Kaufmann, San Francisco (CA), 1. painos. ISBN 1-55860-353-0.
- Kristian Smeds. 2007. *Tuntematon Sotilas (näytelmä)*. Ohjaus. Ensi-ilta Kansallisteatteri, Helsinki 28.11.2007.
- Wesley E. Snyder & Hairongn Qi. 2004. *Machine vision*. Cambridge University Press, Cambridge. ISBN 0-521-83046-X.
- K. Sobottka & I. Pitas. 1996. *Segmentation and tracking of faces in color images*. Teoksessa *Proceedings of the Second International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, s. 236–241.

- R. Sukthankar, Tat-Jen Cham & G. Sukthankar. 2001. *Dynamic shadow elimination for multi-projector displays*. Teoksessa *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, osa 2, s. 151–157. ISSN 1063-6919.
- Jenny Sundén. 2005. *Utvärdering av den virtuella scenografin i operorna Fedra och Fedra och odjuret*. Raportti, Centrum för Opera och Teknik, Kungliga Tekniska högskolan, Tukholma, Ruotsi.
- Rajeev Surati. 1999. *Scalable Self-Calibrating Display Technology for Seamless Large-Scale Displays*. väitöskirja, Massachusetts Institute of Technology, Yhdysvallat.
- Shigeo Morishima Tatsuo, Tatsuo Yotsukura, Kim Binsted, Kim Binsted, Frank Nielsen, Frank Nielsen, Claudio Pinhanez & Claudio Pinhanez. 2000. *HyperMask: Talking Head Projected onto Real Objects*. Teoksessa *In Proc. of Multimedia Modeling (MMM'00)*. 2000: World Scientific, s. 111–120.
- A. Murat Tekalp & Jorn Ostermann. 2000. *Face and 2-D mesh animation in MPEG-4*. Teoksessa *Signal Processing: Image Communication*, osa 15, s. 387. ISSN 0923-5965.
- unicap. 2008. *unicap: Uniform API for image acquisition devices*. Saatavissa: <http://www.unicap-imaging.org/>, viitattu 11.10.2008.
- James M. Van Verth, Jim M. van Verth & Lars M. Bishop. 2004. *Essential mathematics for games and interactive applications: a programmers guide*. Morgan Kaufmann, 1. painos. ISBN 1-558060-863-X.
- P. Viola & M. Jones. 2001. *Rapid object detection using a boosted cascade of simple features*. Teoksessa *Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, osa 1, s. 511–518. ISSN 1063-6919.
- VirChor. 2008. *Virtual Choreographer:in websivu*. Internet. Saatavissa: [http://sourceforge.net/apps/mediawiki/virchor/index.php?title=Main\\_Page](http://sourceforge.net/apps/mediawiki/virchor/index.php?title=Main_Page), viitattu 3.12.2009.
- Daniel Wakin. 2008. *Techno-Alchemy at the Opera*. Teoksessa *The New York Times*. Saatavissa: <http://www.nytimes.com/2008/11/07/arts/music/07faus.html?pagewanted=1&ei=5124&en=3cef3b01221e83dd&ex=1383800400&partner=facebook&exp=facebook>, viitattu 17.12.2009.

- Agnes Widén. 2004. *Virtuell scenografi – och hur det kan användas i opera*. diplomityö, Kungliga Tekniska Högskolan, Ruotsi. Saatavissa: [https://www.nada.kth.se/utbildning/grukth/exjobb/rapportlistor/2004/rapporter04/widen\\_agnes\\_04020.pdf](https://www.nada.kth.se/utbildning/grukth/exjobb/rapportlistor/2004/rapporter04/widen_agnes_04020.pdf), viitattu 4.12.2009.
- Lyndsey Winship. 2005. *The Digital Age*. Teoksessa *Stage Directions*, osa 18 (12), s. 26.
- Yu Zhang, E.C. Prakash & E. Sung. 2004a. *A new physical model with multilayer architecture for facial expression animation using dynamic adaptive mesh*. Teoksessa *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, osa 10 (3), s. 339. ISSN 1077-2626.
- Zhengyou Zhang. 1999. *Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations*. Teoksessa *The Proceedings of the Seventh IEEE International Conference on Computer Vision*, osa 1, s. 666–673.
- Zhengyou Zhang, Zicheng Liu, Dennis Adler, Michael Cohen, Erik Hanson & Ying Shan. 2004b. *Robust and Rapid Generation of Animated Faces from Video Images: A Model-Based Modeling Approach*. Teoksessa *International Journal of Computer Vision*, osa 58, s. 93.

## Liite A

# Kyselylomake - osa 1

Kyselylomake tehosteista, joka jaettiin katsojille 9. ja 11.2.2009.

**Digitaalinen ooppera ”Ihmiskunnan rakastajat”****ARVIOINTILOMAKE**

Vastaajan ikä: \_\_\_\_\_ Sukupuoli (rastita): \_\_\_\_ Nainen \_\_\_\_ Mies

Olen nähnyt aikaisemmin \_\_\_\_ oopperaesitystä ja \_\_\_\_ teatteriesitystä (arvioi määrä).

**1. Ooppera ”Ihmiskunnan rakastajat” oli mielestäni esityksenä:**

Heikko				Keskinkertainen				Hyvä
1	2	3	4	5	6	7	8	9

**2. Digitaaliset visuaaliset tehosteet, jotka heijastettiin esiintyjien taakse, tukivat esityksen kokonaisuutta:**

Heikosti								Hyvin
1	2	3	4	5	6	7	8	9

**Digitaaliset visuaaliset tehosteet liittyivät muuhun esitykseen:**

Katkonaisesti							Saumattomasti	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Ei mielekkäästi							Mielekkäästi	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

**3. Verrattuna perinteisesti oopperassa käytettäviin tehosteisiin, digitaalisten visuaalisten tehosteiden käyttö teki esityksestä:**

Vähemmän mukaansatempaavan				Yhtä mukaansatempaavan			Mukaansatempaavamman	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Vähemmän viihdyttävän				Yhtä viihdyttävän			Viihdyttävämmän	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Millä muulla tavalla digitaalisten visuaalisten tehosteiden käyttö vaikutti esitykseen verrattuna perinteisiin visuaalisiin oopperatehosteisiin?

---



---



---



---



---

**4. Digitaaliset äänitehosteet, jotka toistettiin tilan kaiutinjärjestelmästä, ja niillä aikaansaatu tilavaikutelma tukivat esityksen kokonaisuutta:**

Heikosti									Hyvin
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

**Digitaaliset äänitehosteet ja niillä aikaansaatu tilavaikutelma liittyivät muuhun esitykseen:**

Katkonaisesti									Saumattomasti
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Ei mielekkäästi									Mielekkäästi
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

**5. Verrattuna perinteisesti oopperassa käytettäviin äänitehosteisiin, digitaalisten äänitehosteiden käyttö teki esityksestä:**

Vähemmän mukaansatempaavan				Yhtä mukaansatempaavan				Mukaansatempaavamman	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Vähemmän viihdyttävän				Yhtä viihdyttävän				Viihdyttävämmän	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	

Millä muulla tavalla digitaalisten äänitehosteiden käyttö vaikutti esitykseen verrattuna perinteisesti oopperassa käytettäviin äänitehosteisiin?

---



---



---



---



---



## Liite B

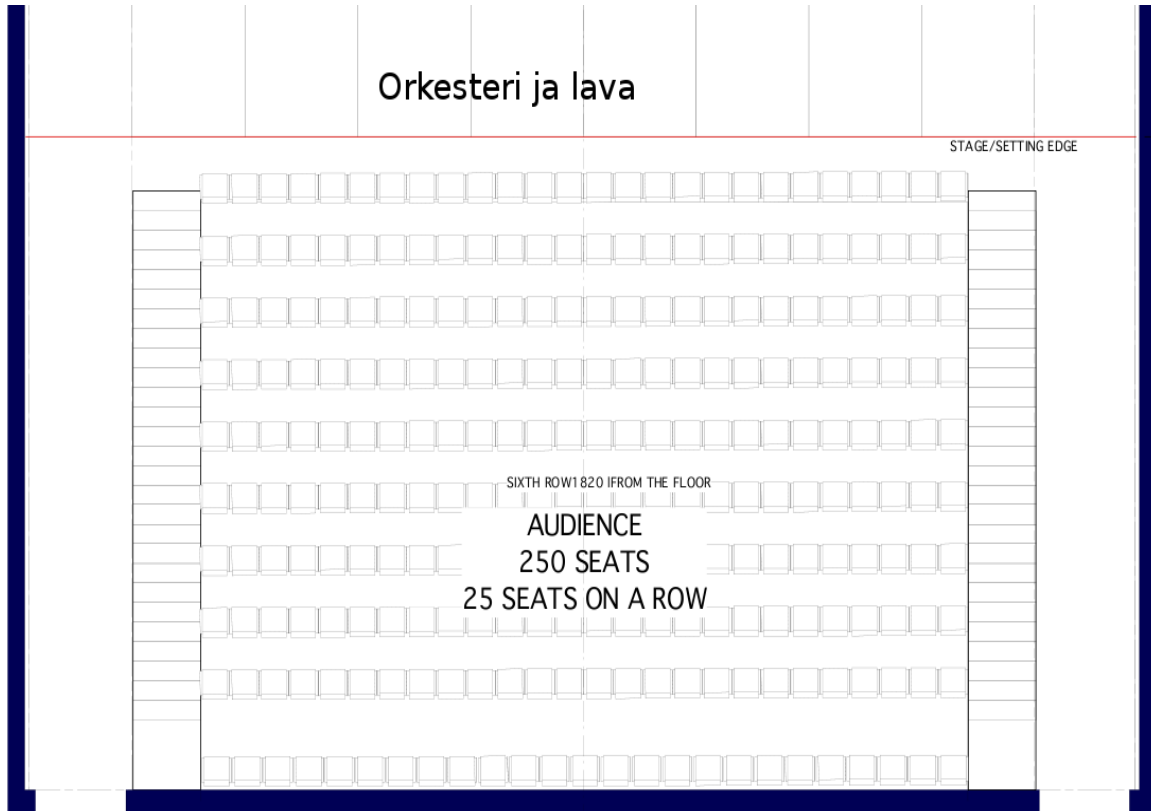
# Kyselylomake - osa 2

Kyselylomake virtuaalilavasteista, joka jaettiin katsojille 11.2.2009.



Esityksessä käytetään videoprojektoria, jolla lavalle heijastetaan kaikki kuvallinen materiaali. Koska kuva heijastetaan salin takaa tilasyistä, näyttelijät ja lavasteet luovat kuvaan varjoja. Lisäksi kuva näkyy myös näyttelijöiden vaatteissa.

**Merkitse rastilla pohjapiirrokseen missä kohden salia suunnilleen istuit:**



#### Lavasteihin heijastetun kuvan aukot

Kuinka paljon kiinnitit huomiota lavasteissa olevan projisointikuvan (kuvat, videot ja grafiikka) aukkoihin?

| - - - | - - - | - - - | - - - | - - - | - - - | - - - | - - - | - - - | - - - |  
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
 en yhtään paljon

Jos kiinnitit huomiota, kuinka paljon aukot häiritsivät?

| - - - | - - - | - - - | - - - | - - - | - - - | - - - | - - - | - - - | - - - |  
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
 ei yhtään paljon

**KÄÄNNÄ**

**Näyttelijöihin osuva projisointi**

Kuinka paljon kiinnitit huomiota näyttelijöihin osuvaan projisointiin?

|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|  
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
 en yhtään paljon

Jos kiinnitit huomiota, kuinka paljon näyttelijöihin osuva projisointi häiritsi?

|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|  
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
 ei yhtään paljon

**Näyttelijöiden taustoihin luomat varjot**

Kuinka paljon kiinnitit huomiota näyttelijöiden taustoihin luomiin varjoihin?

|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|  
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
 en yhtään paljon

Jos kiinnitit huomiota, kuinka paljon varjot häiritsivät?

|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|  
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10  
 ei yhtään paljon

**Kiitos vastauksistanne.**