

Maija Mäkinen

KEINOTODELLISUUDEN SOVELTAMIS-
MAHDOLLISUUDET IHMISLÄHEISSÄ TIETEISSÄ

Tietotekniikan pro gradu -tutkielma

Ohjelmistotekniikan linja

26.9.2007

Jyväskylän yliopisto

Tietotekniikan laitos

Tekijä: Maija Mäkinen

Yhteystiedot: maimakin@jyu.fi, 040-7650719

Työn nimi: Keinotodellisuuden soveltamismahdollisuudet ihmisläheisissä tieteissä

Title in English: Possibilities to use virtual reality in humane sciences

Työ: Pro gradu -tutkielma

Sivumäärä: 72+6

Linja: Ohjelmistotekniikka.

Teettäjä: Jyväskylän yliopisto, tietotekniikan laitos

Avainsanat: Keinotodellisuus, ihmistieteet, virtuaalimaailma, 3D-mallinnus, CAVE

Keywords: Virtual reality, humane sciences, virtual world, modelling, CAVE

Tiivistelmä: Keinotodellisuus on tietokoneen avulla luotu keinotekoinen ympäristö, jonka olemassaolo vaikuttaa uskottavalta ja jonka kanssa voi olla vuorovaikutuksessa. Keinotodellisuusteknologiaa voidaan soveltaa monilla eri aloilla. Tässä tutkimuksessa pyritään selvittämään keinotodellisuuden käyttömahdollisuuksia ihmisläheisillä tieteenaloilla. Keinotodellisuutta on hyödynnetty muun muassa psykologian, oppimisen ja taiteen aloilla. Jyväskylän yliopistossa on kehitteillä *Aikamaisema*-niminen keinotodellisuussovellus. Sen tarkoituksena on esitellä erään suomalaisen maalaiskylän historiaa ja havainnollistaa kylän maisemallisia muutoksia vuosien saatossa.

Abstract: Virtual reality is a computerized and interactive three-dimensional environment. Virtual reality related technology can be used in many different fields. This research aims to find out possibilities to use virtual reality in humane sciences. Virtual reality has been made good use of in fields like psychology, learning and art. A virtual reality application

called *Aikamaisema* is being developed in the University of Jyväskylä. It aims to introduce a Finnish village's history and to demonstrate changes in the landscape through the years.

Sisältö

1	JOHDANTO	1
2	TERMIT	3
3	KEINOTODELLISUUS JA SIIHEN LIITTYVÄT TEKNIIKAT	5
3.1	PAIKAN JA ASENNON SEURANTA	6
3.1.1	Magneettinen paikannus	7
3.1.2	Mekaaninen paikannus	7
3.1.3	Optinen paikannus	7
3.1.4	Akustinen (ultraääni-) paikannus.....	8
3.1.5	Inertia- (hitaus-) paikannus.....	8
3.1.6	Neuraalinen (lihas-) paikannus	8
3.2	OHJAUSLAITTEET	9
3.2.1	Rekvisiitta	10
3.2.2	Alustat.....	10
3.3	PUHEENTUNNISTUS	11
3.4	NÄYTTÖLAITTEET	12
3.4.1	Monitorinäytöt	12
3.4.2	Projektionäytöt.....	13
3.4.3	Silmikkonäyttö.....	15
3.4.4	Puominäyttö	16
3.5	STEREONÄÖN MAHDOLLISTAVAT TEKNIIKAT	18
3.6	ÄÄNEN TUOTTAMINEN	19
3.7	HAPTINEN PALAUTE.....	20
3.8	VIRTUAALIMAAILMAN LUOMINEN	21
3.8.1	3D-mallien luominen	21
3.8.2	Interaktio	23
3.8.3	Työkaluohjelmistot ja rajapinnat	25
3.8.4	Grafiikkalaitteet	29

4 KEINOTODELLISUUSSOVELLUSTEN KÄYTTÖ IHMISLÄHEISTEN TIETEIDEN TUTKIMUKSESSA	31
4.1 TIETEENALOJEN VALINTA	32
4.2 SOVELLUSTEN ESITTELY	32
4.2.1 Psykologian sovellukset.....	33
4.2.2 Oppimissovellukset.....	36
4.2.3 Taiteen alan sovellukset.....	43
5 HISTORIAN JA ETNOLOGIAN LAITOKSEN ESIMERKKITAPAUKSET ..	49
5.1 CASE: VIRTUAALIMUSEO - MUSEOIDEN MUSEO	49
5.2 CASE: <i>AIKAMAISEMA</i>	51
5.2.1 Sovelluksen kuvaus.....	52
5.2.2 Vaatimukset	55
5.2.3 Pohdintaa tärkeimmistä vaatimuksista.....	57
5.2.4 Sovelluksen toteuttamisen suunnitelma.....	60
5.2.5 Yksi toteutustapa: VTP	62
5.2.6 Projektin vaiheet ja alustava aikataulusuunnitelma	64
6 YHTEENVETO	66
LÄHTEET	70
LIITTEET	73
LIITE 1: <i>IHMINEN, AIKA, MAISEMA</i> -PROJEKTIN TUTKIMUSSUUNNITELMA.....	73
LIITE 2: TOIVOLA – KYLÄTIETOA	77

1 Johdanto

Keinotodellisuus on tietokoneen avulla luotu keinotekoinen ympäristö, jonka olemassaolo vaikuttaa uskottavalta. Keinotodellisuudesta voidaan käyttää myös termejä tekotodellisuus, virtuaalitodellisuus tai lumetodellisuus. Tässä tutkielmassa käytetään termiä keinotodellisuus. Keinotodellisuusjärjestelmässä käyttäjä kokee olevansa sisällä virtuaalisessa ympäristössä, jonka kanssa hän voi olla vuorovaikutuksessa. Tällaisen interaktiivisen keinotodellisuuskokemuksen tuottaminen vaatii paljon laitteisto- ja ohjelmistoresursseja, joiden käyttäminen vaatii erityistä asiantuntemusta ja jotka ovat huomattavasti kalliimpia kuin tavalliset PC-laitteet tai -ohjelmistot.

Viihteen saralla keinotodellisuus on ollut pitkään sekä innoituksen että kiinnostuksen kohteena. Tietokonepelit ovat kehittyneet koko ajan realistisemmiksi ja myös elokuvissa on monesti kuvattu virtuaalitodellisuuden mahdollisuuksia (tai mahdottomuuksia). Keinotodellisuutta voidaan kuitenkin käyttää myös muilla aloilla. Keinotodellisuusympäristöjä on käytetty paljon esimerkiksi teknisillä ja luonnontieteellisillä aloilla tieteellisessä tutkimuksessa tai tuotekehittelyn apuna. Tämän tutkielman tarkoituksena on selvittää mahdollisuuksia käyttää keinotodellisuutta ihmisläheisissä tieteissä. Ihmisläheisillä tieteillä tarkoitetaan tässä tapauksessa Jyväskylän yliopiston kasvatustieteiden, liikunta- ja terveystieteiden, humanistisen sekä yhteiskuntatieteellisen tiedekuntien alaisia tieteitä.

Keinotodellisuuden käyttömahdollisuuksia tarkastellaan tutkielmassa muualla toteutettujen tutkimusten kautta ja rajoitetaan niihin tutkimuksiin, jotka jollain tavalla liittyvät edellä mainittujen Jyväskylän yliopiston tiedekuntien tutkimusaloihin. Yksityiskohtaisemmin tutkielmassa esitellään kolmen eri alan keinotodellisuussovelluksia ja niihin liittyviä tutkimuksia. Lopuksi pohditaan keinotodellisuuden käytön hyödyllisyyttä ja soveltuvuutta näille aloille.

Tutkielman avulla on myös kartoitettu uusia ihmisläheisiin tieteisiin liittyviä projektimahdollisuuksia toteutettavaksi Jyväskylän yliopiston AVEC-tekotodellisuuslaboratoriossa (Agora Virtual Environmet Center, AVEC). Näistä ideoista Jyväskylän yliopiston historian ja etnologian laitoksen esittämät sovellusideat on esitelty tämän tutkielman luvussa 5, joista ainakin *Aikamaisema*-hanke tullaan toteuttamaan keinotodellisuuslaboratoriossa.

Luvussa 2 on esitelty tärkeitä aihepiiriin liittyviä termejä. Seuraavana luvussa 3 käydään läpi perustietoa keinotodellisuusteknologiasta ja sen menetelmistä. Luku 4 koostuu maailmalla toteutettujen ihmisläheisiin tieteisiin liittyvien sovellusten esittelyistä. Luvussa 5 esitellään ja määritellään Jyväskylän yliopiston historian ja etnologian laitoksen tutkijoiden ideoimia keinotodellisuussovelluksia. Lopuksi luvussa 6 esitetään johtopäätökset keinotodellisuuden soveltumisesta ihmisläheisiin tieteisiin ja luvussa 7 on yhteenveto tutkielman sisällöstä.

2 Termit

Termi **keinotodellisuus** (myös virtuaalitodellisuus, tekotodellisuus, lumetodellisuus) on moniulotteinen ja sen merkitystä selvitetään enemmän luvussa 3. Yksinkertaistetusti keino-
todellisuus voidaan kuitenkin määritellä tietokoneen avulla luoduksi ympäristöksi, jonne
käyttäjä voi uppoutua ja jonka kanssa käyttäjä voi olla vuorovaikutuksessa.

William R. Shermanin ja Alan B. Craigin kirjassa [Sherman 2003] **keinotodellisuuskemus** määritellään neljän pääelementin avulla. Näitä ovat virtuaalimaailma, uppoutuminen, aistipalaute ja vuorovaikutteisuus. **Virtuaalimaailmalla** tarkoitetaan keino-
todellisuuden aikaansaamaa ympäristöä, kuvitteellista tilaa ja siellä olevia objekteja, joilla
on tietyt suhteet ja säännöt hallitsemassa niiden toimintaa.

Uppoutuminen eli **immersio** on vaikutelma siitä, että ihminen on sisällä ympäristössä. Se
voi olla pelkästään henkinen tila, kuten useimmilla medioilla aikaansaatu tuntemus, jolloin
ihminen tuntee syvästi olevansa osallisena ympäristön tapahtumissa. Keinotodellisuuden
tunnusmerkkinä on fyysinen uppoutuminen, jolloin ihminen on myös fyysisesti sisällä ha-
vaitsemassaan tilassa. Keinotodellisuusjärjestelmän sanotaan olevan **immersiivinen**, kun
käyttäjän on mahdollista uppoutua järjestelmän luomaan virtuaalimaailmaan.

Aistipalaute on välttämätön osa keino-
todellisuutta. Keinotodellisuusjärjestelmä huolehtii
suoran aistipalautteen antamisesta käyttäjälle perustuen hänen sijaintiinsa virtuaalimaail-
massa. Palaute on useimmiten **visuaalista** (näkyvää) ja **auditiivista** (kuuluvaa), mutta on
myös olemassa järjestelmiä, joissa palaute annetaan yksinomaan kosketuksen ja paineen
avulla eli **haptisesti**.

Keinotodellisuusjärjestelmä ei saa tehdä käyttäjästä passiivista, vaan hänellä täytyy olla
vapaus liikkua, toimia, valita katselupisteensä sekä kokea toimiensa seuraukset. Keino-
todellisuusjärjestelmän tulee siis olla **vuorovaikutteinen** eli **interaktiivinen**. Järjestelmän
pitää vastata käyttäjän toimintaan, jotta kokemus vaikuttaisi todelliselta.

Eräs keino-
todellisuuden tyyppi on **lisätty todellisuus** (*engl. augmented reality*). Siinä vir-
tuaalinen esitys ja havainnot todellisesta maailmasta on yhdistetty, varsinaiseen todellisuus-

teen on lisätty erityisen teknologian avulla käyttäjää avustavia aistimuksia, useimmiten visuaalisia.

CAVE on kuutiomainen keinotodellisuusjärjestelmä, joka koostuu 1-6 projisointiseinästä, joille tietokoneiden generoimat stereokuvat heijastetaan projektoreiden avulla. **PowerWall** on nimitys, jota käytetään yhden projisointiseinän keinotodellisuusjärjestelmästä. **HMD** eli **silmikkonäyttö** voi olla joko päähän sijoitettava kypärä tai suojalasien tyyliset näyttölasit, jonka sisälle virtuaalimaailman näkymä kuvastuu.

Avatar on käyttäjän ohjaama virtuaalimaailmassa näkyvä hahmo, joka edustaa kyseistä käyttäjää virtuaalimaailman sisällä.

Vuorovaikutuksen mahdollistamiseksi käyttäjä tarvitsee syötelaitteen. **Wanda™** on eräs CAVE-järjestelmissä usein käytetty kädessä pidettävä syötelaite. Se on varustettu paikan-
nustilaiteiston vastaanottimella, kolmella napilla sekä ohjaussauvalla.

Virtuaalimaailman näkymä koostetaan kolmiulotteisista malleista (**3D-mallit**), jotka luodaan erityisillä **mallinnustyökaluilla**. Kolmiulotteiset mallit saadaan näyttävimmiksi **tekstuureiden** avulla. Tekstuuri määritetään kuvatiedostona ja se esittää tiedon pinnan materiaalista ja kuvioinnista. Tietokonegrafiikassa kolmiulotteiset objektit muodostuvat **polygoneista**. Polygoni on janoista muodostuva suljettu tasokuvio, monikulmio.

Ihmisläheisillä tieteillä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa humanistisia, yhteiskuntatieteellisiä, kasvatustieteellisiä ja liikuntatieteellisiä aloja. Psykologian termi **fobia** tarkoittaa johonkin tiettyyn kohteeseen suuntautuvaa kohtuuttoman vahvaa ja hallitsematonta pelkoa. Fobioiden hoidossa käytetään usein **altistusterapiaa**, jossa potilas tavalla tai toisella altistetaan pelon kohteelle.

3 Keinotodellisuus ja siihen liittyvät tekniikat

Keinotodellisuus voidaan määritellä tietokoneiden ja syöttö- sekä näyttölaitteiden avulla luoduksi keinotekoiseksi ympäristöksi, joka vaikuttaa uskottavasti aidolta ja jonka kanssa voi olla vuorovaikutuksessa. On kuitenkin huomattava, että tällaisella keinotekoisella ympäristöllä ei tarvitse välttämättä olla mitään reaalista vastinetta. Virtuaalinen maailma voi simuloida aisteilla havaittavissa olevaa fyysistä todellisuutta tai mallintaa fyysisen todellisuuden ilmiöitä, jotka eivät ole suoraan aisteilla havaittavissa. Virtuaalimaailma voi myös esittää täysin mielikuvituksellista ympäristöä, jossa vallitsevat luonnonlait poikkeavat reaali-
maailman luonnonlaeista.

Virtuaalimaailman sisällöstä riippumatta keinotekoisien ympäristöiden on vaikutettava uskottavasti aidolta, jotta ihminen voi aistihavaintojensa myötä uppoutua virtuaaliseen maailmaan. Uskottavien aistihavaintojen synnyttäminen on siis ensimmäinen edellytys keinotodellisuuskokemuksen synnyttämiseksi. Ihmisen on myös kyettävä liikkumaan tässä virtuaalisessa ympäristössä ja olemaan vuorovaikutuksessa ympäristön sekä sen sisältämien objektien kanssa. Tällainen vuorovaikutus edellyttää sekä keinotodellisuusjärjestelmän laitteistolta että ohjelmistoilta reaaliaikaisuutta.

Aistipalautteen luominen ihmiselle on välttämätön osa keinotodellisuusjärjestelmän toteuttamista. Oikean aistipalautteen tuottamiseksi keinotodellisuusjärjestelmän on tiedettävä virtuaalimaailmassa liikkuvan ihmisen sijainti, orientaatio ja liikkeet, joiden pohjalta järjestelmään kuuluvat tietokoneet luovat niitä vastaavan kuvauksen virtuaalimaailman sisällöstä. Useimmissa tapauksissa tällainen palaute on visuaalista ja auditiivista, mutta tarvittavan palautteen luominen voidaan tehdä myös haptisesti eli tuntoaistimuksena tuotettavan kosketuksen ja paineen avulla.

Aistipalautteen tuottamista varten keinotodellisuusjärjestelmän on seurattava käyttäjän sijaintia, orientaatiota ja liikkeitä, joka tarkoittaa useimmiten sekä ihmisen pään että kädessä pidettävän interaktioliitteen sijainnin ja orientaation reaaliaikaista seuranta. Kehittyneemmissä järjestelmissä voidaan seurata samanaikaisesti myös useampia vartalon osia tai useampaa käyttäjää.

Tämän luvun suurimpana lähteenä on käytetty William R. Shermanin ja Alan B. Craigin kirjaa *Understanding Virtual Reality* [Sherman 2003]. Selvytyden vuoksi kappaleiden lopussa on sivunumeroidut lähdeviittaukset oikeisiin kohtiin tässä lähdeteoksessa.

3.1 Paikan ja asennon seuranta

Käyttäjän seuranta keinotodellisuusympäristössä tehdään paikannuslaitteistolla, joka mittaa reaaliaikaisesti seurattavien kohteiden paikat ja asennot eli orientaatiot. Käyttäjän pään sijainnin ja orientaation perusteella keinotodellisuusjärjestelmä laskee oikean näkymän virtuaaliseen maailmaan. Vastaavasti käsien ja sormien seurannan avulla keinotodellisuusjärjestelmään voidaan toteuttaa erilaisia interaktiomalleja joko virtuaalisen maailman objektien kanssa tai virtuaalimaailmassa liikkuvien ihmisten kanssa. Käytännössä käsien seuranta toteutetaan kiinnittämällä paikannuslaitteen vastaanotinanturit käyttäjän ranteisiin. Sormien liikkeiden seurantaan käytetään erityistä datahanskaa, joka mittaa sormien asennon. Muiden ruumiinosien seuranta voidaan tarvittaessa tehdä samalla periaatteella kuin pään seuranta.

Keinotodellisuussovelluksen ja -ympäristön paikannusta toteutettaessa hankintahinnan lisäksi valintakriteereitä ovat:

- (1) paikan ja orientaation mittaustarkkuus ja -nopeus,
- (2) vaadittava immunitetti ympäristöstä aiheutuville häiriöille sekä
- (3) erilaiset fyysiset rajoitteet (esim. johdot, näköyhteyden puuttuminen).

Yksikään kaupallisesti saatavilla oleva paikannusteknologia ei toimi täydellisesti edellä mainittujen kriteerien suhteen. Tästä syystä keinotodellisuusjärjestelmän ja -sovelluksen suunnittelijoiden tulee tietää miten järjestelmää ja -sovellusta tullaan käyttämään ja valita tämän pohjalta sopivin paikannuslaiteratkaisu. Edellä mainittujen valintakriteerien lisäksi on huomioitava mitkä ovat paikannuslaitteiston edellytykset hyväksyttävän keinotodellisuuskokemuksen tuottamiseen. Esimerkiksi paikannuslaitteiston häiriöherkkyys, huono tarkkuus ja mittausviiveet vähentävät kokemuksen realistisuutta ja virtuaalimaailman im-

mersiivisyyttä. Keinotodellisuussovelluksen huonosti toteutettu paikannus voi jopa aiheuttaa pahoinvointia joillekin käyttäjille.

3.1.1 Magneettinen paikannus

Sähkömagneettisessa paikannusmenetelmässä paikannuslaitteiston lähetin generoi syklisesti koordinaattiakseleiden suuntaisen sähkömagneettisen kentän, joka synnyttää induktiovirtoja paikannuslaitteiston vastaanottimien keloihin. Paikan ja orientaation mittaus perustuu vastaanottimien keloihin syntyneiden induktiovirtojen mittaukseen. Menetelmä on yleisimmin käytetty paikannusmenetelmä keinotodellisuussovelluksissa. Menetelmän heikkoutena on kuitenkin herkkyys sähkömagneettisille häiriöille. Paikannuslaitteistoa käytettäessä laitteiston läheisyydessä sijaitseviin rautaesineisiin syntyy pyörrevirtoja, jotka tuottavat paikannustarkkuutta heikentäviä häiriökenttiä ja vääristävät laitteiston tuottamaa sähkömagneettista kenttää. [Sherman 2003, s. 78-79] [Reitmaa 1995, s. 77-78]

3.1.2 Mekaaninen paikannus

Mekaaninen paikannus toteutetaan nivelletyn varren tai puomin avulla, jonka nivelkohtiin on liitetty joko potentiometrejä tai optisia tunnistimia nivelten aukeamiskulmien mittausta varten. Menetelmä on vanhin käytetty paikannusmenetelmä, jolla päästään hyvään paikannustarkkuuteen. Mekaaninen kytkentä käyttäjän ja paikannuslaitteiston välillä kuitenkin rajoittaa käyttäjän liikkumismahdollisuuksia. [Sherman 2003, s. 79-81] [Reitmaa 1995, s. 77]

3.1.3 Optinen paikannus

Yleisimmin käytettävä optinen paikannusmenetelmä perustuu referenssikoordinaatistoon sijoitettuihin videokameroihin, joilla tarkkaillaan käyttäjää tai paikannettavaa objektiä. Menetelmässä paikannettava objekti varustetaan 'markkereilla' (eli tuntomerkeillä), joiden sijainnin perusteella lasketaan seurattavan kohteen sijainti ja orientaatio. Vaihtoehtoisesti kamerat voidaan sijoittaa käyttäjään ja 'markkerit' vastaavasti referenssikoordinaatistoon, jolloin kameran kuvista näkyvien 'markkereiden' perusteella voidaan laskea käyttäjän sijainti ja orientaatio. [Sherman 2003, s. 81-84] [Reitmaa 1995, s. 79]

3.1.4 Akustinen (ultraääni-) paikannus

Akustisessa paikannuksessa käyttäjä tai paikannettava kohde varustetaan mikrofoneilla, joilla otetaan vastaan referenssikoordinaatistoon sijoitetun ultraäänilähettimen tuottamia signaaleja. Etäisyys lasketaan joko äänen kulkuajan tai matkan johdosta syntyvien vaiheerojen perusteella. Menetelmä on edullinen, sillä jo kolmella kaiuttimella ja mikrofonilla voidaan päästä erittäin hyvään paikannustarkkuuteen akustisesti hyvälaatuisissa olosuhteissa. [Sherman 2003, s. 84]

3.1.5 Inertia- (hitaus-) paikannus

Inertiapaikannus perustuu gyroskooppisissa voimissa, kiihtyvyydessä ja kaltevuudessa tapahtuvien muutosten mittauksiin. Inertiapaikannusta käytetään useimmiten toisen paikannusmenetelmän täydentäjänä. [Sherman 2003, s. 85-86]

3.1.6 Neuraalinen (lihas-) paikannus

Neuraalisessa paikannuksessa seurataan käyttäjän ruumiinosien sijaintia suhteessa toisiin ruumiinosiin. Menetelmä ei kuitenkaan ole kovin yleisesti käytetty, koska laitteistot on kalibroitava käyttäjäkohtaisesti jokaisella käyttökerralla, minkä takia se ei sovellu kovin hyvin kohteen sijainnin paikantamiseen. Ruumiinosien asentojen ja liikesuuntien mittaamiseen menetelmä kuitenkin sopii erityisen hyvin. [Sherman 2003, s. 86-88]

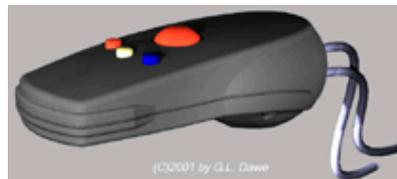
Paikannusmenetelmä	Hyvää	Huonoa
Magneettinen	<ul style="list-style-type: none"> + Ei ole tarvetta näköyhteydelle eli voidaan liikkua vapaasti tilassa. + Langaton järjestelmä saatavilla. 	<ul style="list-style-type: none"> – Hallitsemattomia virheitä, jos lähellä on metallia tai muita magneettikenttiä. – Magneettikentän lyhyt toimintasäde (1-3 metriä), jolla paikannuksen tarkkuus pysyy vielä kohtuullisena. – Toiminta-alueen rajoilla tarkkuus laskee huomattavasti.
Mekaaninen	<ul style="list-style-type: none"> + Tarkat ja nopeat mittaukset. + Ei magneettisia häiriöitä. + Ei tarvetta näköyhteydelle. 	<ul style="list-style-type: none"> – Fyysiset rajoitteet, pieni toiminta-alue. – Voi olla raskasta käyttäjälle.
Optinen	<ul style="list-style-type: none"> + Tarkka. + Ei magneettisia häiriöitä. 	<ul style="list-style-type: none"> – Näköyhteys tarvitaan. – Kallis
Akustinen	<ul style="list-style-type: none"> + Edullinen. + Ei magneettisia häiriöitä. 	<ul style="list-style-type: none"> – Virhe- ja häiriöaltis. – Näköyhteys tarvitaan. – Ultraäänihäiriöt. – Kulkuaikamenetelmässä viiveet kasvavat etäisyyksien myötä
Inertia	<ul style="list-style-type: none"> + Riippumaton muista komponenteista, ei rajoituksia toimintasäteelle. + Suhteellisen nopea. + Edullinen. + Ei magneettisia häiriöitä. 	<ul style="list-style-type: none"> – Mittavirheet kasautuvat. – Laitteet kalibroitava uudestaan aika ajoin – Yleensä vain 3 vapausastetta (paikannetaan vain suunta)
Neuraalinen	<ul style="list-style-type: none"> + Hyödyllinen lihaspainotteisten suoritusten paikantamisessa. + Ei magneettisia häiriöitä. 	<ul style="list-style-type: none"> – Teknologia ei ole vielä kovin kehittynyttä.

Taulukko 1: Paikannusmenetelmät sekä niiden hyviä ja huonoja ominaisuuksia

3.2 Ohjauslaitteet

Käyttäjän paikantamisen lisäksi tarvitaan myös syöttölaitteita, jotta käyttäjä voisi olla vuoroaikatuksessa virtuaalimaailman kanssa, ohjailta virtuaalimaailman tapahtumia ja käsitellä siellä olevia objekteja. Fyysiset syöttölaitteet voivat olla yksinkertaisia kädessä pidettäviä.

täviä esineitä tai suuria ohjaamon tyylisiä alustoja, joissa käyttäjä voi esimerkiksi istua. Tällaisia suuria laitteistoalustoja käytetään erityisesti simulaattoreissa. Kädessä pidettävä laite voi olla yksinkertaisimmillaan nappi, kytkin tai ohjaussauva (*engl. joystick*). Kädessä pidettäviin laitteisiin voidaan myös yhdistää useiden laitteiden interaktiomahdollisuuksia kuten esimerkiksi CAVE-ympäristössä käytettävä WandaTM-ohjain, jossa on paikannuslaitteen anturin lisäksi kolme nappia ja pienikokoinen ohjaussauva. [Sherman 2003, s. 95-96]. Jatkossa WandaTM-ohjaimesta käytetään nimeä Wanda.



Kuva 1: Wanda¹

3.2.1 Rekvisiitta

Keinotodellisuuskokemuksesta voidaan tehdä uskottavampi käyttämällä rekvisiittaa (*engl. props*) esittämään tiettyjä virtuaalisia objekteja. Esimerkiksi painotettu sylinteri voi esittää miekkaa tai nuken pää potilaan päätä. Rekvisiitaksi voidaan sanoa myös yleisiä ohjaimia, kuten Wandaa ja 3D-hiirtä, joka on muuten samanlainen kuin tavallinen hiiri, mutta se ilmoittaa myös korkeuden, eli sijainti saadaan selville kaikissa kolmessa ulottuvuudessa. Rekvisiitta tarjoaa käyttäjälle tuntopalautetta, mikä saa keinotodellisuuskokemuksen tuntumaan entistä aidommalta. [Sherman 2003, s. 96-98]

3.2.2 Alustat

Alustat ovat suurempia rakenteita, joita käytetään rajapintana virtuaalimaailmaan. Samalla lailla kuin rekvisiittoja alustoja käytetään kuvaamaan jotakin virtuaalimaailman osaa käyttämällä oikeita esineitä, jotka käyttäjä voi tuntea koskiessaan niihin. Alusta on paikka, jossa käyttäjä istuu tai seisoo keinotodellisuuskokemuksen aikana. Se voi olla esimerkiksi

¹ Kuva 1: <URL: <http://www.ev1.uic.edu/core.php?mod=4&type=1&indi=169>>

jonkin kulkuvälineen ohjaamo, tukea antava rengasalusta, jonka sisällä käyttäjä seisoo, tai liikkuva alusta, jonka avulla virtuaaliympäristön liike välitetään käyttäjälle. [Sherman 2003, s. 99-103]

3.3 Puheentunnistus

Puheentunnistusjärjestelmät ovat hyvin käytännöllisiä, koska ne mahdollistavat ihmisille luonnollisen kommunikointitavan tietokoneen kanssa. Äärimmäinen puheentunnistusjärjestelmä ymmärtäisi puheen asiayhteyden ja käyttäisi sitä puheen tulkintaan sekä tuottaisi palautteena tasaista puhetta. Nykytekniikalla tämä ei kuitenkaan ole vielä mahdollista. Tällä hetkellä puheentunnistusjärjestelmät toimivat parhaiten, kun ne opetetaan tunnistamaan tietyn henkilön puhetta, joka kontrolloi koko keinotodellisuussovellusta ja lausuu jokaisen sovellukseen ohjaamiseen tarvittavan sanan erikseen.

Äänen avulla kontrolloidun sovelluksen suunnittelussa on erityisesti kiinnitettävä huomiota miten järjestelmän toiminta aktivoidaan. Eräs yksinkertaiselta vaikuttava ratkaisu on, että järjestelmä kuuntelee koko ajan käyttäjää, mutta tämän ratkaisun kohdalla ongelmaksi muodostuu käyttäjän kommunikointi toisten ihmisten kanssa. Puheentunnistusjärjestelmän on siis kyettävä myös tunnistamaan milloin puhe on järjestelmälle tarkoitettu ohjauskäsky ja milloin puhe voidaan taas jättää huomiotta. Ohjauskäskyjen vastaanottamisen aktivointi voidaan suorittaa esimerkiksi painamalla jonkin interaktiovälineen nappia, avainsanojen avulla tai vuorovaikuttamalla virtuaalimaailmassa jonkin puheentunnistusjärjestelmää edustavan avataren kanssa.

Puheentunnistuksen etuina voidaan pitää kommunikaation luonnollisuutta ja käsien vapautumista muihin vuorovaikutustehtäviin. Menetelmän haittapuolina ovat kuitenkin laskennallisesta raskaudesta johtuva hitaus ja häiriöherkkyys muulle puheelle. Lisäksi puheentunnistusjärjestelmiä on erittäin vaikea opettaa tunnistamaan samanaikaisesti usean henkilön tuottamaa puhetta, mikä tekee menetelmästä toimivan ainoastaan yksilötasolla. [Sherman 2003, s. 103-106]

3.4 Näyttölaitteet

Näköaisti tuottaa suurimman määrän informaatiosta, jonka ihminen saa ympäristöstään. Tästä syystä keinotodellisuusjärjestelmien näyttölaitteiden on oltava laadullisesti korkeatasoisia, jotta käyttäjä saadaan uppoutumaan virtuaalimaailmaan niiden tuottaman kuvainformaation perusteella. Uppoutumiseen johtavan vaikutelman syntymistä edesauttavat myös kuvainformaatioissa olevat syvyysvihjeet, jotka kertovat käyttäjälle tietoa objektien suhteellisista etäisyyksistä. Esimerkiksi ihminen on kokemuksen kautta oppinut, että jos toinen objekti peittää osittain toisen, niin tämä peittävä objekti on todennäköisesti lähempänä. Varjostus antaa tietoa objektin muodosta. Useimmiten kahdesta esineestä pienemmän mielletään olevan kauempana kuin suuremman. Muita yhden silmän syvyysvihjeitä ovat perspektiivi, tekstuurit, näkökentän korkeus, usva tai sumu sekä kirkkaus. Myös stereonäön avulla ihminen aistii syvyyden. Stereonäkö johtuu eri silmien verkkokalvolle heijastuvista erilaisista kuvista. Silmät ovat aikuisella tyypillisesti noin 65 millimetrin päässä toisistaan, joten toinen silmä katsoo kohdetta hieman eri suunnasta kuin toinen, ja näin silmien verkkokalvoille piirtyy hieman erilaiset kuvat, jotka aivoissa yhdistyvät yhdeksi kuvaksi. [Reitmaa 1995, s. 30-31]

3.4.1 Monitorinäytöt

Yksinkertaisin keinotodellisuusjärjestelmissä käytettävä näyttö on tietokoneen monitori, joka kykenee näyttämään kolmiulotteisen maiseman muodostamiseen tarvittavat stereokuvat korkealla kuvataajuudella. Tämän lisäksi vaaditaan myös kuvavirtaan synkronoidut suljinlasit ihmisen silmien näkemän kuvavirran kontrolloimiseksi. Tällaisissa järjestelmissä käyttäjä voi liikutella päätään rajoitetusti puolelta toisella ja ylhäältä alas, mutta ei voi suoranaisesti mennä tilaan sisälle. Monitoriratkaisut ovat selkeästi halvimpia ja helppokäyttöisimpiä vaihtoehtoja ja niiden avulla saavutetaan parempi näytön resoluutio kuin esimerkiksi halvimmissa silmikkonäytöissä. Toisaalta monitorinäyttö ei ole immerssiivinen kuten suuret projisointiseinät.

Paikannus on tärkeää myös monitorijärjestelmissä. Yhtenä etuna yhden näytön ratkaisuihin voidaan pitää sitä, että käyttäjän katseen suuntaa ei tarvitse paikantaa, koska aina voidaan olettaa käyttäjän katsovan kohti monitoria. Pään paikan selvittäminen sen sijaan on tärkeää

oikean näkymän laskemiseksi. Paikantaminen voidaan usein tehdä monitorin päälle asetetulla videokameralla. [Sherman 2003, s. 140-142]

3.4.2 Projektionäytöt

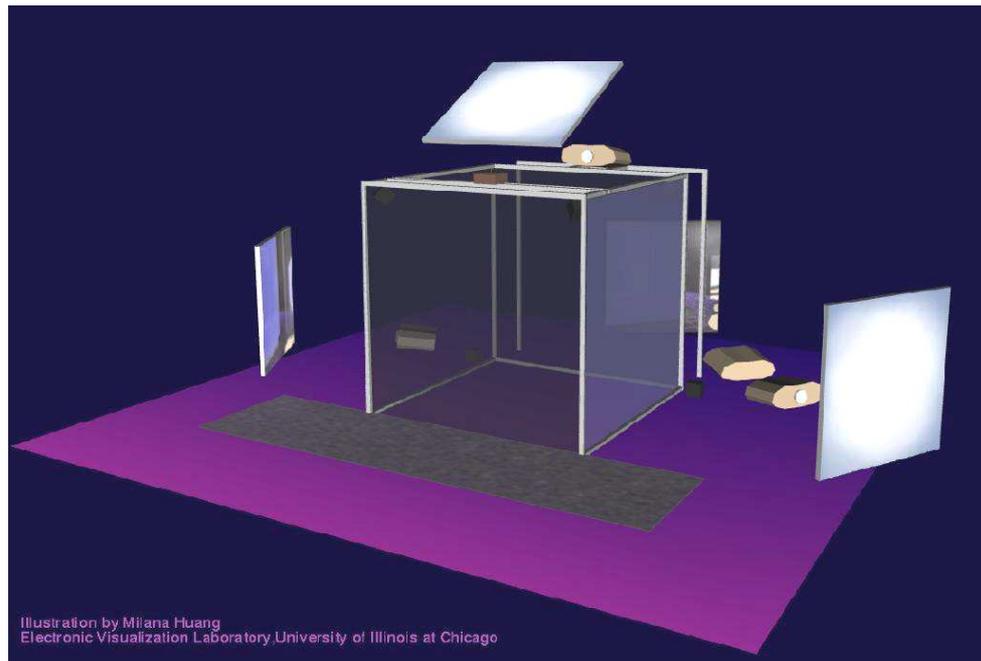
Projisointitekologiaan perustuvat visuaaliset näytöt ovat kiinteitä laitteita, joilla tuotettava kuva on kooltaan paljon suurempi kuin mitä voidaan saavuttaa monitorijärjestelmien avulla. Tämän ansiosta käyttäjän näkökenttä peittyy laajemmin ja käyttäjä voi kuljeskella tilassa paljon vapaammin sekä kokea virtuaalimaailman todellisempänä. Useimmat projisointijärjestelmät on toteutettu taustaprojisointina, jolloin käyttäjien varjot eivät häiritse. Tulevaisuudessa taustaprojisoidut valkokankaat ja projektorit todennäköisesti korvataan suurilla, litteillä näytöillä, jotka voidaan ripustaa seinälle. Näissä on parempi resoluutio, ne vaativat vähemmän ylläpitoa ja vievät vähemmän tilaa kuin tavallinen projisointilaitteisto. Projektionäytöissä on hyvin laaja näkökenttä ja siitä johtuen immersiiivisyyden tunne on hyvin korkea. Niiden rakentamiseen tarvittava teknologia on kuitenkin kallista. [Sherman 2003, s. 143-151]

CAVE

CAVE on taustaprojisointiin perustuva keinotodellisuusjärjestelmä, joka on kehitetty Illinoisin yliopistossa. Immersion tunne luodaan projisoimalla stereokuvaa kuution seinille ja mahdollisesti myös lattiaan sekä kattoon. Käyttäjä tutkii virtuaalimaailmaa liikkumalla kuution sisällä ja on vuorovaikutuksessa siellä olevien virtuaalisten objektien kanssa. CAVE-tilassa voi olla yhtä aikaa useita katsojia. Yksi henkilö toimii aktiivisena käyttäjänä, jonka liikkeiden mukaan kuvakulma muuttuu, ja muut seuraavat passiivisina tapahtumia vierestä. Käyttäjällä on päässään suljinlasit, jotta kolmiulotteinen näkymä kuution seinille heijastetuista kuvista saadaan aikaan. Päässä olevan paikantimen avulla pään paikkaa ja asentoa seurataan ja näiden tietojen mukaan näkymää päivitetään reaaliajassa. [Browning 1993]

Jos näyttölaitteelta vaaditaan suurta resoluutiota, mutta CAVE:n kokoiselle järjestelmälle ei ole tarpeeksi tilaa, sopiva ratkaisu voi olla PowerWall. Se koostuu yhdestä projisointi-

seinästä, jolle heijastetaan stereokuvaa. Muutoin toimintaperiaate vastaa CAVE:a. [PowerWall 1998]



Kuva 2: Cave²

² Kuva 2: <URL: <http://www.artmuseum.net/w2vr/timeline/Sandin.html>>

Virtuaalipöydät (esim. ImmersaDesk)

Virtuaalipöydät ovat myös taustaprojisointia hyödyntäviä keinotodellisuusnäyttöjä, joissa on yksi projisointipinta. Ne vievät vähemmän tilaa kuin CAVE-järjestelmät, mutta käyttäjän liikkumismahdollisuudet ovat rajoittuneemmat. Virtuaalipöytä ei ole kovin huomiota herättävä ja voidaan helposti sijoittaa esimerkiksi tutkimusympäristöihin ja museoihin. [Sherman 2003, s. 143-145]



Kuva 3: ImmersaDesk³

3.4.3 Silmikkonäyttö

Päässä pidettävä silmikkonäyttö (*engl. head-mounted display, HMD*) on todennäköisesti tunnetuin keinotodellisuusnäyttö, mutta se ei välttämättä sovellu keinotodellisuusnäytöksi kaikissa sovelluksissa. Silmikkonäyttö voi olla toteutettu joko siten, että se sulkee todellisen maailman pois näköpiiristä tai näyttö voi olla puoliläpäisevä. Läpikatsottavaa näyttöä voidaan käyttää laajennetun todellisuuden (*engl. augmented reality, AR*) sovelluksissa.

³ Kuva 3: <URL: http://www.isoc.org/inet2000/cdproceedings/6d/6d_2.htm>

Silmikkonäytöt voivat olla päässä pidettäviä kypäriä tai kevytrakenteisia päähän kiinnitettäviä näyttölaitteita, joiden sisällä on molemmille silmille omat pienet näyttönsä. Silmikkonäytön kanssa käyttäjä voi liikkua paikasta toiseen eikä ole rajoitettu pysymään tietyn alueen rajoissa, kuten esimerkiksi CAVE-järjestelmissä. Haittapuolena silmikkonäytöissä on niiden normaalia rajatumpi näkökenttä, joka voi haitata virtuaalimaailmassa liikkumista, ja ne voivat myös tuntua epämukavilta. [Sherman 2003, s. 151-155]



Kuva 4: HMD⁴

3.4.4 Puominäyttö

Puominäyttö toimii periaatteessa samalla tavalla kuin silmikkonäyttö. Siinä itse näyttö on kiinni puomissa, jonka asennon seurannan avulla paikannus tapahtuu. Puominäyttö voi olla käsin kannateltava tai sitä pidetään päässä, kuten silmikkonäyttökkin. Puominäytön ongelmana on kuitenkin puomin mukaan rajattu liikkumisalue.

⁴ Kuva 4: <URL: <http://www.5dt.com/products/ihmd01.html>>

Näyttölaite	Hyvää	Huonoa
Monitorinäyttö	<ul style="list-style-type: none"> + Halpa järjestelmä. + Useimmat komponentit massa-tuotettuja ja helposti saatavilla. + Paikannus helppoa. + Helppo käyttää. 	<ul style="list-style-type: none"> – Vähemmän immersiiivinen kuin muut keinotodellisuusjärjestelmät. – Liikkuminen rajoitettu.
CAVE	<ul style="list-style-type: none"> + Vapaus liikkua kuution sisällä. + Laajempi näkökenttä peitettynä. + Useampi katsoja voi tarkkailla tapahtumia yhtä aikaa samalta näytöltä. + Katsoja ei ole eristettynä ympäröivästä maailmasta, voi nähdä muut henkilöt virtuaalimaailmassa. + Rasittaa silmää vähemmän, kuin esim. parin sentin päähän silmästä tuleva silmikkonäytön ruutu. + Ei painavia varusteita päällä 	<ul style="list-style-type: none"> – Kallis. – Vie paljon tilaa. – Vaatii paljon ylläpitoa. – Katsoja ei ole eristettynä ympäröivästä maailmasta, vaan lähellä toisiinsa olevat virtuaalimaailman objektit ja todelliset objektit voivat häiritä kokemusta.
Virtuaalipöytä	<ul style="list-style-type: none"> + Vie vähemmän tilaa kuin CAVE. + Silti hyvin immersiiivinen. 	<ul style="list-style-type: none"> – Liikkuminen rajoitettu.
Silmikkonäyttö	<ul style="list-style-type: none"> + Voi liikkua vapaasti käyttäjää ympäröivällä alueella. + Helposti siirrettävä. + Vie vähän tilaa. 	<ul style="list-style-type: none"> – Voi olla painava ja epämukava. – Voi haitata liikkumista. – Näkökenttä rajattu. – Jos todellinen ympäristö on suljettu pois näkyvistä, käyttäjä kulkee tilassa sokkona ja voi kävellessään törmätä seinin ja tilan esineisiin. – Pienikin viive paikannuksessa ja kuvan tuottamisessa häiritsee katsojaa huomattavasti, mikä taas voi aiheuttaa pahoinvointia.
Puominäyttö	<ul style="list-style-type: none"> + Paikannus sisäänrakennettu. 	<ul style="list-style-type: none"> – Voi olla raskas. – Liikkuminen rajoitettu.

Taulukko 2: Näyttöjen vertailua

3.5 Stereonäön mahdollistavat tekniikat

Stereovaikutelman luominen edellyttää, että katsojan kummallekin silmälle tuotetaan silmän näkökenttää vastaava kuva, joista aivot muodostavat yhden kolmiulotteisen kuvan. Nämä silmäkohtaisesti lasketut kuvat on kyettävä esittämään toisistaan erillisinä laskettua kuvakulmaa vastaavalle silmälle. Tämä kuvien erottaminen voidaan tehdä useammalla eri tavalla.

Ehkä tunnetuin menetelmä stereokuvan aikaansaamiseksi on punaviherlasien käyttäminen. Punaviherlasien linssit ovat eriväriset, toinen punainen ja toinen vihreä. Menetelmä perustuu siihen, että kuvaruudulla esitetään päällekkäin sekä punaista että vihreää kuvaa, jotka eriväriset linssit jakavat eri silmille. Lopputulos ei ole kovin hyvä, koska eri silmien kuvat ovat erivärisiä, mikä häiritsee katselua. Tämän vuoksi menetelmä ei ole ammattikäytössä kelvollinen. [Reitmaa 1995, s. 49]

Edellistä parempi vaihtoehto on suljinlasiteknologian hyödyntäminen. Suljinlaseissa (*engl. shutter glasses*) on nestekiderakenteiset linssit, jotka voidaan sulkea synkronoidusti. Kummallekin silmälle näytetään vuorotellen ainoastaan tälle silmälle laskettua kuvaa. [Sherman 2003, s. 124]



Kuva 5: Suljinlasit⁵

⁵ Kuva 5: <URL: <http://www.dansdata.com/v8200d.htm>>

Stereokuva voidaan tuottaa myös polarisaation avulla. Polarisaatiokanavointi tapahtuu esittämällä kahta erillistä kuvaa päällekkäin polarisoitujen suodattimien läpi. Esimerkiksi yhdellä kanavalla kuva näytetään horisontaalisesti ja toisella vertikaalisesti polarisoivan suodattimen läpi. Katsojalla on päässään polarisaatiolasit (*engl. polarized glasses*), joissa linseissä on samanlaiset suodattimet, toisessa horisontaalisesti ja toisessa vertikaalisesti polarisoiva suodatin. Tällöin kumpikin silmä näkee vain sille tarkoitetun kuvan. Polarisoitujen lasit ovat halvempia kuin suljinlasit, mutta suljinlasiteknologiaan verrattuna stereokuvan tuottaminen polarisaatiomenetelmän avulla edellyttää kahden projektorin hankintaa jokaisesta projisointinäyttöä varten. Projektoreiden on myös oltava identtisiä, koska virheettömän stereovaikutelman syntyminen edellyttää, että kuvapikselit ovat täydellisesti päällekkäin projektoreiden heijastamissa kuvissa. Polarisaatiosuodattimien yhteydessä tapahtuu myös kanavien läpikuulumista, mikä heikentää stereovaikutelmaa. Polarisaatiomenetelmän haittana on myös pään liikkeiden rajoittuneisuus, sillä esimerkiksi pään kallistaminen hävittää stereovaikutelman [Sherman 2003, s. 124, 145]

3.6 Äänen tuottaminen

Virtuaalimaailma useimmiten esitetään kolmiulotteisena, joten on tärkeää, että myös ympäristön äänimaailma on kolmiulotteinen. Äänet auttavat ihmistä ymmärtämään paremmin häntä ympäröivää ympäristöä. Ihminen pystyy päättelemään äänen suunnan ja etäisyyden tiettyjen vihjeiden perusteella. Esimerkiksi äänen voimakkuus kertoo usein äänilähteen ja kuulijan välisestä etäisyydestä.

Keinotodellisuusympäristöissä käytettävä teknologia äänen esittämiseen voidaan jakaa kahteen erilaiseen kategoriaan: päässä pidettäviin laitteisiin (kuulokkeisiin) ja kiinteästi asennettaviin laitteisiin (kaiutinjärjestelmiin).

Kuulokkeet sopivat hyvin yhteen silmikkonäyttöjen kanssa. Niiden avulla käyttäjä voidaan myös eristää todellisen maailman äänistä. Korkealaatuisen tilääänen tuottaminen kuulokkeisiin on myös helpompaa kuin kiinteästi asennettuihin järjestelmiin, koska kuulokkeiden käytön yhteydessä ei tarvitse huomioida fyysisen tilan akustisia vaikutuksia tilääänen tuottamisessa. Kuulokejärjestelmien haittana voidaan taas pitää äänilähteiden sijaintikorkeuden

hounoa resoluutiota. Kiinteästi asennetuissa järjestelmissä ääni tuotetaan usean kaiuttimen kautta, mikä mahdollistaa tiläänen tuottamisen samanaikaisesti usealle henkilölle. [Sherman 2003, s. 174-176]

Äänilaite	Hyvää	Huonoa
Kuulokkeet	<ul style="list-style-type: none"> + Toimivat hyvin päässä pidettävän näytön kanssa. + Helpompi toteuttaa 3D-äänikenttiä. + Sulkee pois ulkopuolisen melun. + Helpompi siirtää. 	<ul style="list-style-type: none"> – Vain yksi kuuntelija kerrallaan. – Taakkaa käyttäjälle. – Huono resoluutio korkeussuunnassa.
Kaiuttimet	<ul style="list-style-type: none"> + Toimii hyvin paikallaan pysyvien näyttölaitteiden kanssa. + Ei rasita käyttäjää. + Monta käyttäjää voi kuunnella yhtä aikaa. + Monikanavaisissa järjestelmissä mahdollista sijoittaa äänilähde tarkasti virtuaalimaailmaan 	<ul style="list-style-type: none"> – Ei voida siirtää helposti. – Taustamelu voi häiritä.

Taulukko 3: Äänilaitteiden vertailua

3.7 Haptinen palaute

Haptisella palautteella (tuntopalautteella) tarkoitetaan tuntoaistimusta, jonka ihminen saa koskettaessaan esinettä tai aistiessaan ihollaan painetta. Fyysinen kontakti todentaa esineen olemassaolon. Useimmiten haptinen palaute kohdistuu ihmisen käteen, minkä takia esimerkiksi joissakin datahansikkaissa on tuntopalautteita antavia mekanismeja. Myös CAVE-järjestelmissä käytettävä Wanda antaa jo itsessään tuntopalautetta käyttäjälle, joka pitää ohjainta kädessään.

Tuntohavainto liitetään usein vain koskettamisesta tulevaan tuntemukseen, mutta tarkemmin se voidaan käsittää kahden aistimuksen, lihastunnon ja tuntoaistimuksen, yhdistelmänä. Lihastunnolla (*engl. kinesthesia*) tarkoitetaan havaintoa, joka syntyy lihasten, jänteiden

ja nivelten liikkeestä tai niihin kohdistuvasta rasituksesta. Tuntoaistimus koetaan ihon pinnalla olevien herkkien aistinreseptoreiden avulla.

Niin sanottu *haptinen näyttö* tarjoaa tunto- ja voimapalautetta käyttäjälle virtuaalimaailman objekteista. Monet kaupallisesti saatavilla olevat haptiset näytöt toimivat joko tunto- tai voimapalautteen avulla. Haptisen järjestelmän sisällyttäminen keinotodellisuusjärjestelmään on kuitenkin vaikeaa ja kallista, minkä takia niiden käyttö ei ole yleistynyt. [Sherman 2003, s. 177-179] [Reitmaa 1995, s. 42-45]

3.8 Virtuaalimaailman luominen

Virtuaalimaailman luomisprosessin aluksi (1) valitaan esitysmuoto eli se miltä virtuaalimaailma näyttää, kuulostaa ja tuntuu käyttäjältä, sekä (2) päätetään kuinka esitys toteutetaan ohjelmisto- ja laitteistoratkaisujen osalta. Jälkimmäisten valintojen yhteydessä on muistettava, että virtuaalimaailman esittäminen on reaaliaikainen prosessi.

Tärkeä osa keinotodellisuuskokemuksen luomisessa on valita miten ajatukset ja aineisto muutetaan visuaaliseen, auraliseen ja haptiseen muotoon. Sillä, kuinka virtuaalimaailma esitetään, on merkittävä vaikutus koko kokemuksen elämyksellisyyteen. Keinotodellisuussovelluksen suunnittelun ensimmäisessä vaiheessa täytyy päättää miltä virtuaalimaailman tulee näyttää ja mitä tietoa siellä esitetään sekä miten tämä parhaiten tehdään. Esitystapaa valittaessa on analysoitava, että keskitytäänkö keinotodellisuussovelluksessa kvantitatiiviseen (eli määrälliseen) vai kvalitatiiviseen (eli laadulliseen) esitysmuotoon. Määrällisessä muodossa esitetty aineisto näytetään käyttäjälle numeerisessa muodossa, joko suoraan numeroina, graafeina tai pintoina. Laadullisessa esitysmuodossa aineisto pyritään näyttämään havainnollisemmin, esimerkiksi pyrkimällä valokuvamaiseen tarkkuuteen. [Sherman 2003, s. 205-211]

3.8.1 3D-mallien luominen

Visuaalisen näkymän luomiseksi täytyy olla keino esittää objektien muotoja ja paikkoja virtuaalimaailmassa. Tällä hetkellä yleisin metodi objektien luomiseen on esittää objektit

kokoelmana polygoneja, koska useimmat grafiikkalaitteistot on optimoitu polygonaaliselle esitystavalle.

Objekti voidaan määritellä polygonien avulla suoraan näkymän toteuttavasta sovelluksesta käsin, jolloin mitään tiedostoa ei tarvitse tallentaa muistiin. Kuitenkin on hyvin yleistä, että virtuaalimaailmassa tarvittavat objektit luodaan etukäteen erityisellä mallinnusohjelmalla (esimerkiksi 3ds Max⁶, Maya⁷, Blender⁸). Mallinnusohjelmalla voidaan määritellä objektin kolmiulotteinen muoto ja myös sen materiaalikoostumus. Suuri hyöty polygonaalisessa tallennusmuodossa on se, että objektin määrytykset voidaan siirtää suoraan mallinnusohjelmalta ohjelmalle, jolla itse virtuaaliympäristö luodaan.

Valmiita 3D-malleja on vapaasti saatavilla Internetistä, usein ilmaiseksi, tai niitä voidaan ostaa yrityksiltä, jotka ylläpitävät kokoelmaa erimuotoisista ja -kokoisista objekteista. Tämän takia tavallisimmista objekteista ei välttämättä kannata itse alkaa kehittämään 3D-mallia, mikäli riittävän hyvälaatuisia malleja on saatavilla. Useimmissa mallinnusohjelmissa on myös mukana jonkinasteinen valmis mallikirjasto.

Polygonit määritellään kärkipisteiden (*engl. vertex*) avulla ja näiden lisäksi polygonille voidaan myös määritellä väri, tekstuuri sekä pinnan ominaisuudet. Monet tiedostomuodot mahdollistavat polygonien ryhmittelyn yhdeksi suuremmaksi polygoniryhmäksi, joka esittää tiettyä objektia esimerkiksi pöytää tai tuolia. Esinettä, joka muodostuu tästä polygoniryhmästä, voidaan näin käsitellä helpommin yhtenä kokonaisuutena.

Virtuaalimaailman grafiikka voidaan esittää havainnollisesti puurakenteisena kaaviona näkymän tietorakenteesta (*engl. scenegraph*). Jatkossa tätä kaaviota kutsutaan näkymäkaavioksi. Näkymäkaaviossa määritellään objektit, objektien ominaisuudet ja näiden suhteet toisiinsa hierarkkisesti. Kaavio määrää virtuaalimaailman objektien suhteellisen paikan ja

⁶ Autodesk 3ds Max, <<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?id=5659302&siteID=123112>>

⁷ Autodesk Maya, <<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=7635018>>

⁸ Blender, <<http://www.blender.org/>>

suunnan toisiinsa nähden. Myös muut objektien ominaisuudet, kuten värit ja tekstuurit, on sisällytetty siihen. Kokonaista virtuaalimaailman osaa voidaan näin muokata muuttamalla näkymäkaavion rakennetta. [Sherman 2003, s. 246-247]

3.8.2 Interaktio

Interaktio virtuaalimaailmassa on välttämätön osa keinotodellisuuskokemusta. Käyttäjäraja-rajapintaa suunniteltaessa päätetään miten käyttäjä on vuorovaikutuksessa tietokoneen kanssa. Monet interaktiorajapinnat eivät ole luonnollisia tottumattomille käyttäjille, mutta heidät voidaan kouluttaa ja he voivat sopeutua käyttämään uudenlaisia vuorovaikutuskeinoja. Kaikissa tapauksissa rajapinta tietokoneen ja käyttäjän välille tulee olla suunniteltu ottaen huomioon ihmisen tarpeet. [Sherman 2003, s. 283]

Interaktio virtuaalimaailmassa voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: objektien manipulointiin, navigointiin sekä vuorovaikutukseen toisten käyttäjien kanssa.

Manipuloinnilla tarkoitetaan käyttäjän vuorovaikutusta virtuaalimaailman objektien kanssa. Käyttäjä voi ohjailta virtuaalimaailman tapahtumia keinotodellisuuskokemuksen aikana neljällä eri tavalla: suora ohjaus, fyysinen ohjaus, virtuaalinen ohjaus tai agenttiohjaus. Suoralla ohjauksella tarkoitetaan sitä, että käyttäjä käsittelee virtuaalimaailman objekteja kuin oikean maailman objekteja. Käyttäjän tekemät liikkeet ratkaisevat mitä virtuaalimaailmassa tapahtuu. Esimerkiksi käsien nyrkkiin puristaminen tarkoittaa tarttumista kohdalla olevaan objektiin, jolloin sen voi siirtää muuhun paikkaan. Fyysinen ohjaus tapahtuu useimmiten kädessä pidettävän ohjaimen avulla. Tällöin esimerkiksi napin painallus voi tarkoittaa objektiin tarttumista. Virtuaalinen ohjaus suoritetaan kokonaan virtuaalimaailmassa. Sinne on esimerkiksi piirretty valikko, josta käyttäjä voi valita haluamansa toiminnon osoittamalla ohjaimella oikeaan kohtaan valikossa ja valitsemalla toiminnon esimerkiksi napin painalluksella. Agenttiohjauksessa käyttäjä hallitsee agenttia, joka suorittaa käyttäjän käskyt. Käskyt voidaan antaa esimerkiksi puhumalla tai ohjaimen avulla. [Sherman 2003, s. 286-292]

Navigointi kertoo miten virtuaalimaailmassa liikutaan paikasta toiseen. Oikeassa maailmassa navigoimme kävellen, autoa ajamalla, hiihtämällä, lentämällä jne. Keinotodellisuus-

kokemuksen aikana on lukemattomia tapoja navigointiin. Navigoinnissa on kaksi eri puolta, matkustaminen ja tien löytäminen. Matkustamisella tarkoitetaan sitä, kuinka käyttäjä liikkuu tilassa ja tien löytämisellä sitä, kuinka käyttäjä tietää missä hän on ja minne hän on menossa.

Tien löytämisessä tärkeää on tieto siitä missä päin virtuaalimaailmaa käyttäjä sijaitsee ja varmistus polusta haluttuun määränpäähän. Joissain tapauksissa tien löytämisellä ei ole ollenkaan merkitystä, koska käyttäjä voi liikkua alueella vapaasti ilman ennalta määrättyä reittiä tai määränpäättä. [Sherman 2003, s. 332-334]

Yhtenä keinona virtuaalisen tilan läpi matkustamiseen voidaan käyttää ihmiselle luonnollisinta, fyysistä liikkumistapaa, jossa kehon liikkeitä paikannetaan ja näitä mukailien käyttäjä liikkuu samalla tavalla myös virtuaalimaailmassa. Ihminen pystyy myös omaksumaan uusia tapoja (esimerkiksi ohjaussauvat, napit, hiiret) liikkumiseen. Vaikka fyysinen liikkuminen vaikuttaa luonnollisimmalta matkustustavalta, sitä ei kannata pitää ainoana vaihtoehtona. [Sherman 2003, s. 343-344]

Sovelluksessa voi olla ennalta määrätty reitti, jota pitkin käyttäjä etenee ohjatusti, eikä pysty kontrolloimaan kuin omaa katselukulmaansa. Samaan tyyliin voidaan myös asettaa käyttäjä niin sanotun hinausköyden perään, jolloin käyttäjä kulkee määrättyä reittiä pitkin, mutta pystyy vapaasti liikkumaan tietyllä alueella.

Yleisimmin liikkuminen on toteutettu siten, että käyttäjä lentää tai kävelee tilan läpi. Siinä liikkuminen tapahtuu kolmessa ulottuvuudessa tiettyjen kontrollien avulla. Käyttäjä voi myös matkustaa ohjaamalla jotain virtuaalista ajoneuvoa, jolloin ohjaaminen tapahtuu alustan tai simulaattorin avulla. Matkustaminen voi myös tapahtua niin, että käyttäjä manipuloi virtuaalimaailmaa itsensä liikkuttamisen sijaan. Käyttäjä siis siirtää ja skaalaa maailmaa siten, että näkee itse haluamansa kohteen. [Sherman 2003, s. 348-359]

Yhteistyö toisen käyttäjän kanssa virtuaaliympäristössä voi olla tärkeä osa keinotodellisuuskokemusta. Keinotodellisuuskokemuksen jakaminen usean käyttäjän kesken voi tapahtua monella eri tavalla. Jos kokemuksen jakamisen päämäärä on työskennellä yhdessä tietyn ongelman ratkaisemiseksi, kyse on yhteisestä keinotodellisuuskokemuksesta. Jaettu ja

yhteinen kokemus eivät tarkoita samaa – kaikki jaetut keinotodellisuuskokemukset eivät ole yhteisiä. Jaettu kokemus, joka ei ole yhteinen, sisältää yleisön, joka seuraa uppoutuneena olevan osallistujan toimintaa virtuaalimaailmassa.

Keinotodellisuuskokemuksen jakaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi niin, että siinä on yksi virtuaalimaailmaan uppoutunut ja tapahtumia kontrolloiva käyttäjä sekä useita sivustaseuraajia. Uppoutuneita käyttäjiä voi olla myös useampia, jolloin heidän on myös mahdollista tehdä yhteistyötä virtuaalimaailmassa. [Sherman 2003, s. 362-363]

Yhteistyö edellyttää kommunikointia ihmisten välillä. Ääneen perustuva kommunikointi on luontevaa, minkä voi toteuttaa keinotodellisuussovelluksessa audio- tai puhelinjärjestelmän avulla. Myös samanaikainen visuaalinen kommunikointi on tärkeää, koska puhues- sa eleet tuovat lisää sisältöä puheeseen. Joskus eleet ovat myös koko viestin sisältö (esim. heilutus, osoittaminen). Eleiden välittäminen osallistujien kesken vaatii visuaalista esitystä osallistujan toimista. Toiset osallistujat voidaan kuvata virtuaalimaailmassa omina yksilöllisinä hahmoinaan (*engl. avatar*) tai voidaan käyttää keinotodellisuusjärjestelmään integroitua videokonferenssilaitteistoa suoran videokuvan välittämiseen. Kommunikointi voi myös tapahtua jättämällä jokin merkki virtuaalimaailmaan. Tämä merkki voi olla esimerkiksi suuntaviitta, kirjoitettu viesti tai visuaalinen huomautus. Tietysti yksinkertaisin metodi yhteistyöhön on se, että osallistujat ovat samassa tilassa keskenään. Parhaiten tämä voidaan toteuttaa isolla projektiosysteemillä. Useampi ihminen voi olla yhtä aikaa samassa tilassa ja siten nähdä sekä kuulla toisensa ilman mitään ylimääräistä laitteistoa. [Sherman 2003, s. 369-370]

3.8.3 Työkaluohjelmistot ja rajapinnat

Keinotodellisuussovellusten kehittäjille on tarjolla paljon erilaisia työkaluja: kirjastoja, työkaluohjelmistoja, sovelluskehyskiä, jopa kokonaisia kehitysympäristöjä, joissa yhdistyy kaikki sovelluksen kehityksessä tarvittavat ominaisuudet (mallinnus, ohjelmointi ja suoritus). Kaikissa eri työkaluissa on erilainen ominaisuuksien joukko, koska keinotodellisuusohjelmistoille ei ole vielä olemassa mitään standardeja. Jokainen tukee tiettyä joukkoa lait-

teistoja ja antaa kehittäjille sekä loppukäyttäjille tietyn abstraktiotason, riippuen siitä mille tasolle rajapinta sijoittuu sovelluksen ja laitteiston välillä (ks. Taulukko 4).

Jokaisessa työkalussa interaktio käyttöjärjestelmien, verkkojen, syöttölaitteiden, näyttölaitteiden, äänilaitteiden ja haptisten laitteiden kesken hoidetaan eri tavoin. Jokaisessa työkalussa on myös erilainen käyttöliittymä, jossa graafisten objektien luominen ja niiden kontrollointi, vuorovaikuttaminen ympäristön kanssa sekä syöttölaitteiden hallinta on toteutettu eri tavoin. Kaikki edellä mainitut asiat voivat vaikuttaa sovelluksen suorituskykyyn. Näin ollen keinotodellisuussovelluksen kehittäjien täytyy ottaa monia asioita huomioon valitessaan sopivaa työkalua sovelluksen toteuttamiseen. Joskus työkalujen erot ovat hyvin vähäisiä ja niiden hyviä sekä huonoja puolia on vaikeaa vertailla. [Bierbaum 1998]

Sovellusohjelma
Ylemmän tason rajapinta, esim. Performer
Alemman tason rajapinta, esim. OpenGL
Laitteisto

Taulukko 4: Rajapintojen sijoittuminen sovelluksen ja laitteiston välille

Grafiikkakirjasto sisältää kokoelman käskyjä, joiden avulla ohjelmoija pystyy suorittamaan monimutkaisia toimintoja kirjoittamalla suhteellisen yksinkertaisen aliohjelma- tai funktiokutsun. Grafiikkakirjaston käyttö helpottaa ohjelmoijan työtä, koska tämän ei tarvitse grafiikkaa luodessa perehtyä laskennassa käytettäviin matemaattisiin laskukaavoihin, vaan laskenta on piilotettu funktiokutsujen taakse. [Sherman 2003, s. 248-249]

Seuraavana on esitelty joitain keinotodellisuussovellusten kehittämiseen käytettäviä rajapintoja ja työkaluohjelmistoja.

OpenGL

OpenGL on kaikkein laajimmin käytetty ja tuettu matalan tason grafiikkaohjelmointirajapinta. Se toimii monilla eri laitteistoalustoilla sekä käyttöjärjestelmillä, ja sitä voidaan

käyttää useilla yleisimmillä ohjelmointikielillä. OpenGL:n avulla päästään helpommalla tavalla käsiksi useimpien grafiikkalaitteistojen toimintoihin. [OpenGL 2004]

OpenGL Performer

Kirjastot voivat olla ylemmän tason kirjastoja, jolloin ne käyttävät muita kirjastoja apunaan. Silicon Graphicsin OpenGL Performer -kirjasto (entiseltä nimeltään IRIS Performer) käyttää OpenGL:ää varsinaisten polygonien piirtämiseen. Sitä käyttämällä voidaan käsitellä polygoniryhmiä korkeammalta tasolta ja siinä on toteutettuna enemmän geometrista laskentaa, kuten kappaleiden leikkauspisteiden määrittäminen. Performer on suunniteltu erityisesti virtuaalimaailman nopeaan piirtämiseen. Se mahdollistaa helpomman ohjelmointimallin hyödyntämällä näkymäkaavioita virtuaalimaailman rakenteen esittämisessä. [Sherman 2003, s. 249]

Open Inventor

SGI:n Open Inventor on oliopohjainen 3D-työkaluohjelmisto grafiikkaohjelmointiin. Sen ohjelmointimalli perustuu tietokantaan, joka sisältää paljon erilaisia valmiita objekteja (esimerkiksi kuutioita, polygoneja, tekstiä, materiaaleja, kameroita, valoja), jotka nopeuttavat ohjelmointia. Inventor on myös rakennettu OpenGL:n päälle ja se on vapaasti saatavilla. [Open Inventor 2003]

VRML

VRML (Virtual Reality Modelling Language) on standardi, joka kehitettiin graafisten virtuaalimaailmojen jakamiseen Internetissä WWW:n kautta. Alkuperäinen versio perustui Silicon Graphicsin Inventor-formaattiin. Alkujaan VRML oli ensisijaisesti muotojen kuvauskieli, vaikkakin se salli myös linkkejä äänitiedostoihin ym. Myöhempi versio (VRML 97) sisälsi myös 3D-äänen, interaktiivisuuden sekä oliopohjaisen rakenteen. VRML-tiedostoja voidaan kirjoittaa tekstieditorilla samaan tyyliin kuin HTML:ää. Niissä kuvataan maailma, joka voi esittää 3D-grafiikkaa, 3D-ääntä sekä linkkejä. Tiedoston katseluun tarvitaan VRML-selain. [Scott 1996]

CAVE-kirjasto

CAVE-kirjasto (engl. *The CAVE Library*) kehitettiin Illinoisin yliopistossa pääasiassa laitteistorajapinta-kirjastoksi. Kirjasto sisältää rutiineja eri laitteiden, kuten datahansikkaiden, Wandan ja paikantimien väliseen kommunikointiin. Grafiikan luomista CAVE-kirjasto ei hoida, vaan sovelluksen ohjelmoija tekee sen jollain muulla kirjastolla, kuten OpenGL tai OpenGL Performer. Siinä ei myöskään ole toteutettuna korkeamman tason ominaisuuksia, kuten törmäysten havaitsemista tai tukea objektien käyttäytymisen hallintaan. Alkuperäinen CAVE-kirjasto toimi yhdessä ainoastaan CAVE-näytön kanssa, mutta myöhemmin siitä on tullut joustavampi, joten se toimii myös esimerkiksi silmikkonäyttöjen, puominäyttöjen sekä monitorinäyttöjen kanssa. CAVE-kirjasto on kaupallisesti saatavilla. Se toimii ainoastaan SGI:n tietokoneissa. [Sherman 2003, s. 248-251] [Bierbaum 1998]

VR Juggler

Keinotodellisuussovellusten toteuttamiseen on myös paljon vapaasti saatavilla olevia kirjastoja. Niistä yksi on Iowan yliopiston edelleen kehityksen alla oleva VR Juggler. Se tarjoaa CAVE-kirjaston tapaan rajapinnan keinotodellisuuslaitteiston ja virtuaalimaailman luovan ohjelman välille. Käyttäjältä piilotetaan yksityiskohdat keinotodellisuuslaitteistosta, mikä tekee ohjelmoinnista yksinkertaisempaa. VR Jugglerin tarkoituksena on saada sovellukset siirrettävimmiksi käyttöjärjestelmien ja laitteistoalustojen välillä. Se tukee myös monia keinotodellisuusjärjestelmissä käytettyjä syöttölaitteita sekä useita eri grafiikkarajapintoja (esimerkiksi OpenGL, OpenGL Performer). [Iowa 2001] [Bierbaum 1998]

AVANGO

AVANGO on GMD:n (*German National Research Center for Information Technology*) kehittämä kirjasto nopeaan keinotodellisuussovellusten luontiin sekä immersiiivisiin että ei-immersiiivisiin järjestelmiin. Se perustuu OpenGL Performeriin, mistä johtuen se toimii ainoastaan SGI-alustalla. AVANGO:ssa hyödynnetään Performerin tapaan näkymäkaavioita virtuaalimaailman rakenteen esittämiseksi. Se tarjoaa Performerin näkymäkaavioiden lisäksi omia solmuja ääntä ja muita ominaisuuksia varten. AVANGO ei ole vapaasti saatavilla, mutta testilisenssejä on mahdollista anoa GMD:ltä. [GMD 2000]

DIVERSE

DIVERSE on vapaasti saatavilla oleva rajapinta, joka toimii usealla eri alustalla. Se toimii tällä hetkellä IRIX:issä sekä Linuxissa, ja tuki myös Windows XP:lle sekä Mac OS X:lle on kehitteillä. DIVERSE:n tarkoituksena on saada aikaan rajapinta, jolla keinotodellisuussovellusten kehittäjät pystyvät luomaan sovelluksia, jotka toimivat sekä tavallisissa pöytä-tietokoneissa että monissa immersiiivisissä järjestelmissä. DIVERSE sisältää yleisen rajapinnan interaktiivisen grafiikan tuottamiseen, rajapinnan erilaisiin interaktiolaitteisiin (esimerkiksi ohjaussauvat, paikantimet) sekä monia muita työkaluja. [Diverse 2005]

3.8.4 Grafiikkalaitteet

Vaikka tavallisella pöytä-tietokoneella voidaan luoda interaktiivista tietokonegrafiikkaa, niin monet monimutkaisemmat interaktiiviset grafiikkatekniikat vaativat laitteiston, joka on erityisesti varustettu reaaliaikaisen piirtämisen mahdollistavalla tehokkaalla näytönohjaimella sekä prosessorilla. Pohjimmaisena tavoitteena keinotodellisuuden grafiikkajärjestelmissä on tuottaa rikkaita ja informatiivisia näkymiä niin nopeasti kuin mahdollista.

Grafiikkatietokoneet koostuvat tietokonelaitteistosta, joka on optimoitu suorittamaan 3D-grafiikan tuottamiseen tarvittavan laskennan. Ennen tämän tason koneet olivat erittäin kalliita ja niiden ainoat käyttäjät rajoittuivat sotilas- ja ilmailusektorille, mutta laitteistojen hinnat ovat laskeneet ja nykyään grafiikkatietokoneita on saatavilla useissa eri hintaluokissa. Silicon Graphics, Inc. (SGI) valmistaa high-end-grafiikkalaitteistoja, jotka on suunniteltu erityisesti reaaliaikaisen tietokonegrafiikan esittämiseen.

Viime aikojen tietokonepelimarkkinoiden kasvu, PC-tekniikan uudet tehokkaammat liitännävyölyratkaisut ja näytönohjaintekniikan kehittyminen ovat auttaneet alentamaan korkealaatuisten grafiikkajärjestelmien hintoja ja tänä päivänä suhteellisen hyvälaatuista grafiikkaa voidaan luoda myös kohtalaisen edullisilla järjestelmillä. Halvimmilla laitteistoilla ei kuitenkaan voida toteuttaa kaikkia keinotodellisuussovelluksia rajoittuneen prosessoritehon tai muistikapasiteetin tai grafiikkatehon takia. [Sherman 2003, s. 246]

Grafiikkalaitteiston suorituskyky vaikuttaa viiveeseen näkymien piirtämisessä. Realistisuuden tunne häviää sitä mukaa kun viive kasvaa käyttäjän syötteiden ja niiden vaikutusten

välillä. Noin kymmenen millisekuntia on suhteellisen hyvä vasteaika, mutta esimerkiksi vasteajan pidentyminen kaksinkertaiseksi eli kahteenkymmeneen millisekuntiin aiheuttaa jo havaittavan häiriön kuvavirrassa. Suurin hyöty kalliimpien ja tehokkaampien grafiikkalaitteiden käytössä on niiden kyky piirtää monimutkaisia näkymiä muutamissa millisekunneissa. Viivettä mitattaessa puhutaan usein FPS-lukemasta. FPS (*frames per second*) kuvaa kuinka monta kuvaa sekunnissa näytölle piirretään. Mitä korkeampi FPS-lukema on sitä sulavammalta liike näyttää kuvassa.

Kokonaisviive käyttäjän syötteen ja näytön vasteen välillä koostuu kuitenkin useasta eri tekijästä keinotodellisuusjärjestelmässä ja -sovelluksessa: paikannuksesta, muutosten laskennasta, virtuaalimaailman piirrosta, lopputuloksen lähettämisestä näyttölaitteelle ja sovellusohjelman ohjelmoinnin toteutuksesta. Viivettä voidaan pienentää ensisijaisesti kahdella tavalla: (1) lähettämällä tieto syöttölaitteilta tietokoneelle mahdollisimman nopeasti sekä (2) vähentämällä grafiikan luontiin menevää aikaa. Kokonaisviivettä voidaan myös vähentää kanavoimalla kuvan piirto usealta näytönohjaimelta yhdelle näytölle (*DPLEX decomposition*). [Sherman 2003, s. 243]

4 Keinotodellisuussovellusten käyttö ihmisläheisten tieteiden tutkimuksessa

Keinotodellisuussovellusten käytön suosio on viime aikoina kasvanut merkittävästi ihmisläheisten tieteiden keskuudessa. Esimerkiksi historian ja taiteen aloilla keinotodellisuus on osoittautunut erittäin sopivaksi ympäristöksi sovelluksiin johtuen sen immersiiivisyydestä ja mahdollisuudesta hyvin tarkkaan ympäristön mallintamiseen. [Cruz-Neira 2003]

Edellä mainittujen lisäksi keinotodellisuussovelluksia käytetään myös monien muiden alojen tutkimuksessa. Erilaisia lääketieteen sovelluksia on laidasta laitaan. Sovelluksia käytetään sekä lääkäreiden koulutuksessa että potilaiden hoidossa. Esimerkiksi leikkauksen tekemistä voidaan harjoitella simulaattoreilla ja potilaan tuntemaa kipua voidaan pyrkiä lievittämään kyseiseen tarkoitukseen tehdyn keinotodellisuussovelluksen [HITLab 2007] avulla. Keinotodellisuuden mahdollisuuksia on myös hyödynnetty psykoterapiassa. [Hodges 2001] [Ferne 2002]

Erilaisia harjoitteluun käytettäviä simulaattoreita on myös kehitetty keinotodellisuusympäristöihin. Lento- ja ajosimulaattorit ovat hyvin yleisiä. Simulaattoriharjoittelu on olennainen osa koulutusta monilla aloilla, joilla vaaditaan suoritusvarmuutta. Simulaattorilla harjoittelu on myös turvallisempaa ja huomattavasti edullisempaa kuin oikeassa annettava koulutus ympäristössä. Joissain tapauksissa, kuten esimerkiksi avaruuslennoilla, harjoittelun järjestäminen on jopa mahdotonta ilman simulaattoreita. [Ferne 2002] [Brooks 1999]

Keinotodellisuusympäristö on visuaalisuutensa vuoksi oivallinen ympäristö myös monien asioiden ja ilmiöiden visualisointiin ja suunnitteluun. Tämän tyyppisiä keinotodellisuussovelluksia on käytetty muun muassa rakennusten arkkitehtuurien ja ajoneuvojen ergonomian sekä tekniikan suunnittelussa. [Ferne 2002] [Brooks 1999]

Seuraavaksi tässä luvussa esitellään muutamia maailmalla toteutettuja sovelluksia ihmisläheisiltä tieteenaloilta. Ennen esittelyä on kuitenkin selvitetty minkä takia tässä tutkielmassa päädyttiin etsimään juuri näihin kyseisiin aloihin liittyviä sovelluksia.

4.1 Tieteenalojen valinta

Ennen lähemmin tarkasteltavien keinotodellisuussovellusten valintaa, täytyi tehdä päätös tieteenaloista, joiden sovelluksia olisi mielekästä esitellä tässä tutkimuksessa. Sovelluksia olisi hyvä löytää niiltä aloilta, jotka kiinnostavat Jyväskylän yliopiston ihmisläheisten tieteiden tutkijoita.

Rajauksen suorittamiseksi ensiksi kartoitettiin, mitä Jyväskylän yliopiston ihmisläheisissä tiedekunnissa tutkitaan, jotta voitaisiin löytää sopivimmat tutkimusalat. Laitosten WWW-sivuilta löytyi tarvittava tieto näiden alojen tutkimuksesta. Humanistisen tiedekunnan tutkimusalueille sopivia sovelluksia löytyi lähinnä historian ja taiteiden puolelta. Näiltä osin päädyttiin tarkastelemaan taiteisiin liittyviä sovelluksia, virtuaalisia museoita. Syynä tähän valintaan oli aiheesta löytynyt kattava dokumentaatio. Tämän tyyllisiä sovelluksia voidaan mahdollisesti myös hyödyntää historian alalla. Yhteiskunnallisen tiedekunnan osalta psykologia tuntui olevan ainoa ala, jolla keinotodellisuuden sovelluksia oli käytetty apuna tutkimuksessa. Lähinnä sovellukset liittyivät psykoterapian tutkimukseen ja persoonallisuushäiriöiden hoitokeinoihin. Kasvatustieteiden tiedekunnan tutkimukseen liittyviä sovelluksia löytyi oppimisen tutkimuksen alueelta. Keinotodellisuuden käyttöä opetuksessa oli tutkittu paljon ja aiheesta oli kirjoitettu hyvin dokumentaatiota. Liikunta- ja terveystieteiden tiedekunnan tutkimukseen liittyvistä sovelluksista ei löytynyt juuri ollenkaan aineistoa, joten tältä alalta yhtään sovellusta ei valittu tarkasteluun.

4.2 Sovellusten esittely

Jyväskylän yliopiston ihmisläheisten tiedekuntien tutkimusalueiden kartoituksen ja näihin aloihin liittyvien keinotodellisuussovellusten ja -tutkimusten vertailun jälkeen tutkielman suorittamisessa päätettiin keskittyä kolmen eri alan sovelluksiin: psykologian, oppimisen sekä taiteen. Tässä luvussa näiden alojen sovelluksia on esitelty tarkemmin.

4.2.1 Psykologian sovellukset

Tässä kappaleessa on pääasiassa käytetty lähteenä Larry F. Hodgesin ym. kirjoittamaa artikkelia [Hodges 2001] keinotodellisuuden käytöstä psyykkisten ja fyysisten häiriöiden hoidossa.

Psyykkisten häiriöiden hoitosovellukset ovat vain eräs osa suurempaa keinotodellisuussovellusten aluetta, jota kutsutaan *kliiniseksi keinotodellisuudeksi*. Tällä tarkoitetaan suoraa keinotodellisuuden käyttöä psyykkisten ja fyysisten häiriöiden hoitoon tai arviointiin. Kliinisiä keinotodellisuussovelluksia käytetään esimerkiksi fobioiden, traumaperäisen stressihäiriön (*engl. Post-Traumatic Stress Disorder; PTSD*) ja syömishäiriöiden hoitoon sekä kivun lievitykseen ja fyysisten (lähinnä nilkkojen ja jalkojen) vammojen kuntouttamiseen.

Kliininen keinotodellisuus on yksi lupaavimmista sovellusalueista, jotka voivat saavuttaa suuren käyttäjäkunnan. Erilaiset fobiat ovat hyvinkin tavallisia, vaikka vain harvat etsiyvät hoitoon ongelmansa takia. Todennäköisimmäksi syyksi tähän epäillään olevan sen, että nämä ihmiset ovat liian peloissaan kohdatakseen pelkonsa aiheuttajan todellisuudessa. Tästä syystä onkin pyritty kehittämään uudenlaisia tekniikoita fobioiden hoitoon. Keinotodellisuus toimii oivallisena ympäristönä hoitoon, koska potilas on hoidon aikana turvallisessa tilassa, jossa ei oikeasti ole pelon kohdetta, vaan hän kohtaa pelkonsa virtuaalisesti.

Useita kliinisiä keinotodellisuussovelluksia on nykyään jo tuotantokäytössä. Sovelluksilla on omat kehitysryhmänsä, joihin kuuluu sekä lääkäreitä että ohjelmistonkehittäjiä. He pyrkivät yhdessä kehittämään parhaimman mahdollisen sovelluksen sen hetkisen keinotodellisuustekniikan mahdollisuuksien ja lääketieteellisten vaatimusten puitteissa.

Psykologit ovat käyttäneet altistusterapiaa pelkojen hoitoon. Siinä on tarkoituksena kohdata pelätty tilanne mielikuvituksessa tai todellisessa maailmassa. Fobiasta kärsivän ihmisen muistiin on piirtynyt tieto pelon laukaisevasta ärsykkeestä sekä siitä aiheutuvasta reaktiosta. Terapian avulla pyritään muuttamaan muistissa olevan pelon rakennetta. Pelon kanssa ristiriitainen tieto voidaan hankkia ja kokea altistusterapian aikana. Keinotodellisuus on potentiaalinen työkalu pelkohäiriöiden hoitoon. Kun potilas uppoutuu pelättyyn virtuaaliympäristöön, muistissa olevan pelon rakenteen muokkaus on mahdollista.

Seuraavaksi on esitelty muutamia keinotodellisuusaltistusterapiaan käytettyjä sovelluksia.

Korkeanpaikankammo:

Ensimmäinen kontrolloitu tutkimus keinotodellisuuden soveltamisesta psykologisten häiriöiden hoitoon käsitteli korkeanpaikankammon hoitoa altistusterapian avulla. Osallistujia altistettiin toistuvasti virtuaalisille jalankulkusilloille, parvekkeille ja lasisille hisseille. Keinotodellisuusaltistusterapia osoittautui tehokkaaksi keinoksi vähentää pelkoa ja parantaa asenteita korkeita paikkoja kohtaan. Korkeiden paikkojen pelko ja välttely vähentyi huomattavasti virtuaaliympäristössä tutkitussa ryhmässä.

Tästä tutkimuksesta saatiin alustavat todisteet sille, että virtuaaliympäristö toteuttaa pelkotilojen tehokkaaseen hoitoon vaadittavat olosuhteet. Ensiksi henkilökohtaiset pelot aktivoitiin esityksellä virtuaaliympäristössä. Useat osallistujat kokivat tässä vaiheessa fyysisiä pelkoon liittyviä aistimuksia, kuten hikoilua, 'perhosia vatsassa' tai polvien heikkoutta. Terapian aikana pelon väheneminen osoittautui mahdolliseksi, joten potilaat pystyivät toimimaan pelosta keinotodellisuuskokemusten aikana. Lopuksi tutkimus vihjasi, että virtuaalisesti koetut pelot auttoivat ihmisiä kohtaamaan ne myös todellisuudessa. Itse asiassa seitsemän kymmenestä hoidon suorittaneesta altisti itsensä pelolleen todellisissa tilanteissa ilman käskyä tehdä niin.

Lentopelko:

Seuraavassa tutkimuksessa virtuaalisen altistusterapian tehokkuutta verrattiin tavalliseen altistusterapiaan lentopelon hoidossa. Potilaat oli jaettu kahteen ryhmään, toisessa käytettiin virtuaaliympäristöä ja toisessa ei. Hoito koostui kahdeksasta henkilökohtaisesta terapiapistunnosta. Tutkijat opettivat taitoja pelosta selviytymiseen ensimmäisillä neljällä istunnolla. Lopuilla istunnoilla potilaita altistettiin lentopelolle, joko virtuaaliympäristössä istumalla lentokoneessa nousuissa, tasaisella lennolla, myrskyisillä lennoilla ja laskuissa tai tavallisessa ympäristössä lentokentällä ennen lentokoneeseen astumista tapahtuvissa toimituksissa ja istumalla paikoillaan olevassa lentokoneessa. Kaupallisen lentoyhtiön järjestämä terapian jälkeinen lento mittasi terapiaan osallistuneiden halukkuutta lentää ja pelkoa oikean lennon aikana. Tulokset osoittivat, että sekä virtuaalisen altistusterapian läpikäynyt että

normaalin terapian ryhmä olivat ylivoimaisia verrattuna kontrolliryhmään, joka ei ollut saanut minkäänlaista terapiaa. Terapiaa saaneiden ryhmien välillä ei ollut eroja.

Tutkijat osoittivat että virtuaaliympäristössä suoritettu terapia auttoi useita terapiaan osallistuneita olemaan halukkaita lentämään hoidon jälkeen, myös lennon aikainen pelon luokitus muuttui. Hoito jatkui molemmissa ryhmissä kuuden kuukauden ja vuoden jatkoosilla. Vuosi hoidon loppumisen jälkeen yli 93 prosenttia osallistujista molemmissa ryhmissä ilmoittivat jatkaneensa lentämistä hoidon jälkeen ja arvioivat kehittyneensä paljon. Tämän tutkimuksen tulokset viittaavat siihen että keinotodellisuus on yhtä tehokas altistus-terapian työkaluna kuin vallitseva normaali fobioiden hoidon käytäntö. Toisaalta huomattiin myös, että pelokkaat henkilöt pitivät virtuaaliympäristössä tapahtuvaa hoitoa parempana vaihtoehtona kuin normaalia käytäntöä. Seuraavasta hoidettavasta ryhmästä 14 henkilöä 15:stä valitsikin juuri virtuaalisen hoitomuodon. Keinotodellisuus näyttää olevan sekä tehokas että potilaita miellyttävä terapiavaihtoehto.

PTSD, traumaperäinen stressihäiriö:

Yksittäiset pelot ovat kaikkein parhaiten hoidettavissa psyykkisistä häiriöistä. Hieman kovempi testi keinotodellisuusterapian tehokkuudesta on ollut traumaperäisen stressihäiriön hoitoon liittyvä tutkimus. PTSD on psyykinen häiriö, joka voi kehittyä äärimmäisen traumaattisen kokemuksen, kuten taistelun, seksuaalisen hyväksikäytön tai liikenneonnettomuuden, seurauksena. Se oireita ovat:

- trauman läpikäyminen muistojen kautta, takauamat, painajaiset
- traumaan liittyvien ajatusten, tunteiden, muistojen välttely
- univaikeudet, ärtyisyys yms.

Joann Difeden ja Hunter Hoffmanin kirjoittamassa artikkelissa [Difede 2002] on selvitetty World Trade Center -kaksoistorneihin kohdistuneen terrori-iskun jälkeisen PTSD-tapauksen hoitoa virtuaalisen altistusterapian avulla. Tässä onnistuneessa terapiahoidossa potilaana oli nainen, joka koki vuoden 2001 syyskuun 11. päivän iskun hyvin läheltä. Iskun jälkeen hänellä todettiin PTSD ja sairaaloinen masennus. Hän oli koko ajan hyvin ärtynyt ja vihainen, näki mielessään välähdyksiä traumaattisista tapahtumista sekä yritti vältellä

muistoja aiheuttavia asioita. Aluksi potilas kokeili mielikuvaterapiaa. Se ei kuitenkaan autanut, koska hän ei kyennyt tavoittamaan terrori-iskun hetkellä kokemiaan tunteita.

Keinotodellisuusterapiassa käytettiin silmikkonäyttöä, jolle heijastettiin näkymää Manhattanilta. Alkunäkymässä näkyivät kaksoistornit kaukaa ja aurinkoinen, pilvetön taivas. Mitään ääniefektejä ei alussa ollut. Potilas altistettiin eritasoisille kohtauksille päivän tapahtumista. Ensimmäisenä lentokone lentää tornien ohi, mutta ei osu niihin. Seuraavana kone osuu torniin, mutta räjähdystä ei tapahdu. Seuraavassa kohtauksessa tapahtuu räjähdys, mutta ei kuulu ääniefektejä. Näin kohtaukset etenevät, kunnes lopulta viimeisenä kohtauksena on koko tapahtumasarja lentokoneen osumisesta tornien luhistumiseen. Potilas katsoi aina jokaista kohtausta niin kauan kunnes tottui kohtaukseen.

Keinotodellisuusterapian vaikutus huomattiin heti ensimmäisellä hoitokerralla. Ensimmäisellä silmäyksellä WTC-torneista silmikkonäytöltä potilas purskahti itkuun ja alkoi kerrata päivän tapahtumia, missä pelkkä mielikuvaterapia ei ollut onnistunut. Terapiaistuntoja oli yhteensä kuusi. Hoidon jälkeen PTSD:n oireita ei enää havaittu potilaalla.

Tämän tapauksen pohjalta keinotodellisuussovellusten käyttö PTSD:n hoitoon vaikuttaisi hyvin tehokkaalta hoitomuodolta. Traumojen hoitamisessa altistusterapian käyttö ei useinkaan ole samalla tavalla mahdollista, kuin fobioiden tapauksessa, koska trauman aiheuttanut tapahtuma ei välttämättä voida toistaa. Keinotodellisuudessa voidaan sen sijaan kuvata tapahtuma hyvin tarkasti, vaikka se muuten ei olisikaan enää mahdollista. Fobioiden ohella myös PTSD:n hoidon järjestäminen keinotodellisuusympäristössä on varmasti potilaalle miellyttävämpi kokemus, kuin altistaminen todelliselle trauman aiheuttajalle.

4.2.2 Oppimissovellukset

Keinotodellisuuden käyttö oppimisen apuna on yleistynyt viime aikoina. Aikaisemmin oppimissovellukset tehtiin vain yhdelle käyttäjälle kerrallaan, mutta keinotodellisuusteknologian kehittyminen on mahdollistanut myös monen käyttäjän oppimissovellukset. Näissä useita oppilaita voidaan sijoittaa yhtäaikaisesti virtuaaliympäristöön, jolloin he voivat tehdä yhteistyötä sekä keskustella toistensa kanssa virtuaalimaailmassa. Tällä hetkellä monen käyttäjän virtuaalisissa oppimisympäristöissä tapahtuvista oppimisprosesseista tiedetään

vielä aika vähän. Tulevina vuosina usean käyttäjän virtuaalioppimisympäristöjen käytön uskotaan kuitenkin lisääntyvän. Nämä oppimisympäristöt ovat arvokkaita, koska oppilaat ilmaisevat itseään ja keskustelevat toistensa kanssa. Tätä kautta opittavat asiat ja omat ajatukset selkeytyvät ja edistävät oppimista. [Jackson 2000]

Seuraavassa on esitelty muutamia virtuaaliympäristöä käyttäviä oppimissovelluksia.

Global Change World:

Usean käyttäjän virtuaalisista oppimissovelluksista tarkastelvaksi valittiin Washingtonin yliopiston oppimiskeskuksen sovellus, GCW (Global Change World). Tässä kappaleessa on käytetty lähteenä Randolph L. Jacksonin ja Eileen Faganin artikkelia [Jackson 2000], jossa GCW ja siihen liittyvä tutkimus on esitelty. GCW on täysin immersiiivinen, usean käyttäjän virtuaaliympäristö, jonka avulla voidaan opettaa ilmaston lämpenemistä ilmiönä ja sen vaikutuksia maapallolla. Se on suunniteltu tutkimaan yhteistyön dynamiikkaa tieteen opetuksessa. Sovelluksen keino- ja todellisuuslaitteistona toimivat immersiiiviset silmikkonäytöt. Niihin on sovitettu sisäpuhelinjärjestelmä, joka mahdollistaa kommunikoinnin käyttäjien kesken. Järjestelmä on osoittautunut soveltuvan hyvin yhteistyöhön kumppanin kanssa ja se pystyy myös edistämään korkean läsnäolotason aikaansaamista virtuaaliympäristössä.

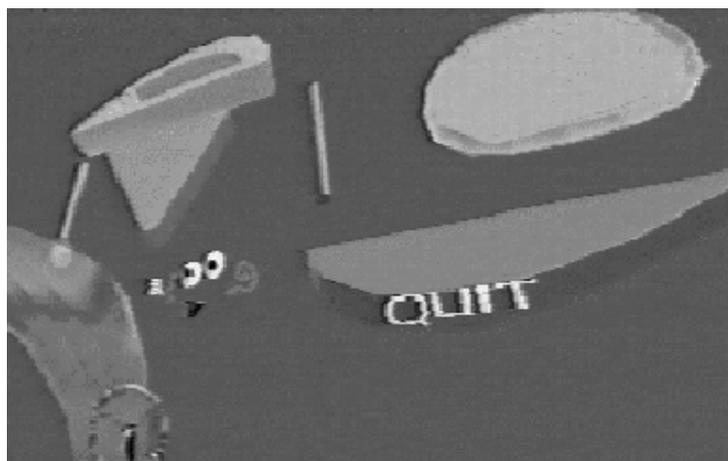
GCW mahdollistaa usean käyttäjän samanaikaisen uppoutumisen ja vuorovaikutuksen virtuaalimaailmassa. Silmikkonäytössä esitetään muun ympäristön poissulkevasti täysin immersiiivistä stereokuvaa, Wanda mahdollistaa navigoinnin ja virtuaalimaailman manipuloimisen sekä sisäänrakennettu audiojärjestelmä osallistujien kommunikoinnin keskenään tai virtuaalisen oppimisympäristöön rakennettujen komponenttien kanssa. Oppilaille voidaan myös kertoa ohjeita kuulokkeisiin, joko yhdelle tai kaikille samanaikaisesti.

GCW:n näkymä on suunniteltu Yhdysvaltojen länsirannikolla sijaitsevan Seattlen kaupungin pohjalta. Näkymä ei kuitenkaan ole täsmällinen kopio Seattlesta, vaikka kaupungin karttaa ja nähtävyyksiä onkin käytetty mallinnuksessa apuna. Kaupungin virtuaalinen malli on rakennettu topologisen kartan pohjalta ja tähän virtuaaliympäristöön on lisätty joitain kaupungin maamerkeistä. Virtuaaliympäristöön on tarkoituksellisesti lisätty vain oppimissovelluksen tavoitteiden kannalta olennaisimmat elementit. Todellisia ympäristöjä mallin-

nettaessa kaikkien ympäristön ominaisuuksien esittäminen olisi kohtuuttoman työläs mallinnettava sekä tekisi sovelluksesta laskennallisesti raskaan, joten mallien ominaisuuksia voidaan jättää pois tai muunnella yksinkertaisemmiksi.

GCW:n luomassa virtuaaliympäristössä käyttäjät pystyvät vaikuttamaan ja muokkaamaan ympäristön muuttujia sekä matkustamaan ajassa eteenpäin nähdäkseen toimiensa tulokset. Oppilaiden on tarkoituksena GCW:n käytöstä saatujen kokemustensa perusteella oppia ymmärtämään paremmin globaalin ilmastonmuutoksen monimutkaista ilmiötä. GCW:n yliaistilliset ominaisuudet yhdessä yhteistyömahdollisuuden kanssa uskotaan auttavan oppilaita syrjäyttämään intuitiiviset harhaluulonsa ilmaston lämpenemisilmiöstä vaihtoehtoisilla, tarkemmilla mentaalisilla malleilla.

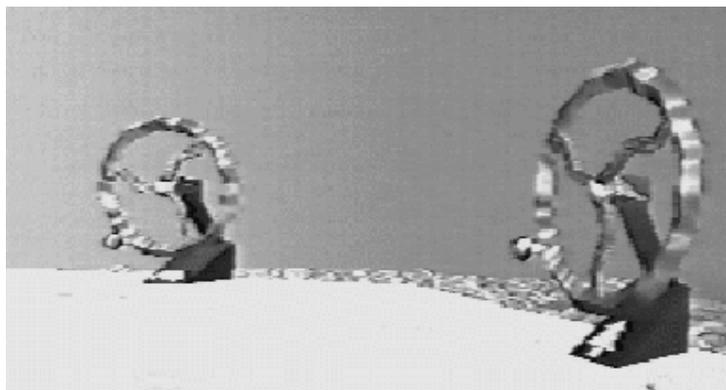
Sovelluksen alussa oppilaat astuvat sisään virtuaaliseen Seattleen vuonna 1997. He voivat navigoida virtuaalimaailmassa kädessä pidettävän Wandan avulla ja samalla he näkevät vastaavan näkymän silmikkonäytöstään. Jokaisella osallistujalla on virtuaalimaailmassa oma yksilöllinen, sarjakuvamainen hahmo eli avatar, jolla näkyy pari isoja silmiä, spiraalimaiset korvat, kolmionmuotoinen suu ja yksi virtuaalinen käsi, jolla objekteja voidaan muokata. Tämä on hyvin yksinkertainen kuvaustapa, mutta oppilailla ei ole ilmennyt mitään ongelmia kommunikoida kumppanin avataren kanssa. Keskustelut onnistuvat sisäpuhelinjärjestelmän avulla.



Kuva 6: Avatar katsoo työkalupakkiin

Jotta tehtäviä voitaisiin suorittaa GCW:ssä, oppilailla on pääsy työkalupakkiin, jossa on työkalut ilman keskilämpötilan, kasvihuonekaasujen määrän ja vuosittaisen sademäärän mittaamiseen kyseisenä vuonna sekä aikamatkustustoiminto. Käyttäjä saa työkalupakin näkyviin virtuaalimaailmaan painamalla tiettyä nappia Wandassa. Tietyn työkalun valitseminen tapahtuu koskettamalla virtuaalikädellä kyseistä työkalua, jolloin sen väri vaihtuu ja se voidaan aktivoida nappia painamalla. Kun jokin työkalu aktivoidaan, silmikkonäytön alakulmaan ilmestyy ikkuna, jossa kysytyt tiedot näkyvät. Aikamatkustaminen tapahtuu valitsemalla haluttu vuosi valintalistasta. Ympäristö ilmestyy visuaalisesti lähes samanlaisena esille. Jos kuitenkin ilmaston lämpenemistä on tapahtunut tai se on vähentynyt, niin meren pinta on vastaavasti noussut korkeammalle tai madaltunut, riippuen siitä kuinka paljon napajäätiköt ovat sulaneet tai kuinka paljon enemmän ne ovat jäässä. Muutosten havainnoimiseksi oppilaiden on mitattava kyseisen vuoden tiedot ja verrattava niitä aikaisempiin mittauksiin.

Oppilaat voivat myös aiheuttaa ympäristöllisiä muutoksia maailmaan säätelemällä virtuaalisten pyörien avulla kolmea muuttujaa: (1) viherkasvien määrää, (2) raskaan teollisuuden määrää ja (3) väkiluvun vaikutuksia maapallolla.



Kuva 7: Ympäristömuuttujia säätelevät virtuaaliset pyörät

Normaalissa ohjatussa GCW-harjoituksessa aluksi työkalupakin työkaluilla tehdään kyseisen hetken mittaukset, jonka jälkeen matkustetaan ajassa eteenpäin ja tehdään samat mittaukset. Tuloksia tarkistellaan ja katsotaan samalla mitä ympäristömuuttujien arvojen vaihtelu vaikuttaa mittaustuloksiin.

GCW:tä on tutkittu 14–15-vuotiaiden lasten parissa. Lapset oli aluksi jaettu kolmeen ryhmään:

- Ryhmä 1: kontrolliryhmä, jossa oppilaat menivät virtuaaliympäristöön ja suorittivat heille annetut tehtävät yksinään.
- Ryhmä 2: oppilaat suorittivat tehtävät pareittain virtuaaliympäristössä ja he saivat tehdä vapaasti yhteistyötä keskenään.
- Ryhmä 3: oppilaat menivät virtuaaliympäristöön erikseen kokeen ylläpitäjän kanssa, tämä toimi asiantuntevana neuvojana, joka vastasi kaikkiin oppilaan kysymyksiin, aktiivisesti yllytti ajattelemaan asiaa ja suoraan opasti oppilasta vaikeuksissa.

Kaikki tutkittavat osallistuivat etukäteen perehdytykseen, jossa esiteltiin käytettävä keino-todellisuuslaitteisto ja kerrottiin tulevasta kokemuksesta. Lapset saivat vapaasti tutustua sovelluksen ominaisuuksiin noin 20 minuutin istunnoissa. Heidän piti opetella navigoimaan ja tuntemaan olonsa helpoksi virtuaaliympäristössä, käsittelemään kömpelöä silmikkonäyttöä sekä kontrolloimaan Wandaa. Opettajat myös tutustuttivat oppilaat ilmaston lämpenemisilmiöön ja siihen liittyvään terminologiaan ennen tutkimuksen suorittamista.

Tutkimuksen aikana kaikki oppilaat suorittivat samat tehtävät. Parien osalta tehtävät oli jaettu molemmille yhteistyön edistämiseksi. Ennen GCW:hen sisään astumista osallistujille kerrottiin, että he ovat osa Virtuaali-Seattlen (VS) palkkaamaa tieteellistä tutkimusryhmää, jonka tarkoituksena on suorittaa ympäristötutkimusta. VS:n asukkaat halusivat tietää, millä kalaisilla vaikutuksilla nykyihmisten toimilla on tulevaisuuden ympäristöön. Jos vaikutukset osoittautuisivat haitallisiksi ympäristölle, VS:n johtajat olisivat kiitollisia saamaan neuvoja siitä, mitä pitäisi muuttaa, jotta näin ei tapahtuisi. Virtuaaliympäristöön astuttuaan oppilaat suorittivat tieteellisen kokeen. He mittasivat lämpötilan, kasvihuonekaasut sekä sademäärän kolme kertaa 50 vuoden ajalla. Jokainen sai asettaa ympäristömuuttujat haluamallaan tavalla.

Parien yhteistyö oli merkittävässä osassa oppilaiden osallistumisessa virtuaalimaailman toimintoihin. Mahdollisuus kommunikointiin puhumalla sai aikaan mukavia ja rentoja keskusteluja parien välillä. Se myös kohotti heidän läsnäolonsa tunnetta. Oppilaan neuvomi-

nen ohjaajan toimesta oli huomattavasti helpompaa, kun hän oli myös läsnä virtuaaliympäristössä, eikä ainoastaan kommunikoinut pelkän äänen avulla.

Kaikissa ryhmissä osallistujat vaikuttivat innokkailta osallistumaan yhteistyöhön ja jotkut olivat hyvinkin puheliaita. Navigoidessaan virtuaalimaailmassa ja suorittaessaan annettuja tehtäviä jotkut oppilaat lähes jatkuvasti keskustelivat siitä mihin mennä, mitä tehdä seuraavaksi ja miten tehdä asiat. Monet olivat niin keskittyneinä suorittamassa tehtäviä, että he osoittelivat virtuaalisia objekteja vapaalla kädellään ja liikkuvat huomaamattaan useita metrejä huoneessa, jotkut jopa törmäilivät seiniin.

Itse tutkimuksen jälkeen osallistujat vastasivat kyselyyn, jossa tutkittiin heidän tietoaan aiheesta, asenteita, kokemuksia ja yleisiä ominaisuuksia. Osa ilmoitti, että ei ollut nähnyt selkeästi silmikkönäyttö päässään ja noin viidellä prosentilla oli esiintynyt jonkinlaista pahoinvointia. Useimmat näistä ongelmista näytti vähentyneen, kun henkilöt viettivät enemmän aikaa virtuaaliympäristössä. Huolimatta näistä ongelmista melkein kaikki osallistuneet ilmoittivat, että kokemus oli ollut heille hyvin miellyttävä ja useimmat halusivat kokea sen uudestaan.

Useimmat kyselyn kysymykset liittyivät tarkkaan tietoon ilmaston lämpenemisilmiöstä. Erityisesti mielenkiintoa herättivät vastaukset kysymyksiin, jotka käsittelivät vuosittaista sademäärää ilmaston lämpenemisen aikajaksolla. Suurin osa vastanneista oli sitä mieltä, että sademäärä vähenee selvästikin sen perusteella, mitä he olivat nähneet GCW:ssä. Kuitenkin aiemmassa opetuksessa oli sanottu, että globaalisti sademäärä todennäköisesti kasvaa, mutta paikallisia eroja saattaa ilmetä. Näyttääkin siltä, että GCW-kokemus oli niin voimakas, että se kumosi muuta kautta opitut asiat.

Toisessa mielenkiintoisessa kysymyksessä käskettiin kirjoittamaan ylös yksi tärkein asia, josta oppilaat olivat huolissaan käsiteltäessä ilmaston lämpenemisestä. Tässä vastaukset erosivat selvästi ryhmien välillä. Ryhmä 3:n vastaukset keskittyivät selvästi globaalien muuttujien kuvaamiin asioihin: ympäristön vaikutukset, kasvihuonekaasut ja saasteet. 1. ryhmän yksittäisillä henkilöillä vastaukset vaihtelivat vähän enemmän. Niissä oli mainittu käsitteitä, jotka eivät olleet osana GCW-kokemusta, kuten ympäristönsuojelu. Ryhmä 2:n vastaukset vaihtelivat kaikkein eniten. Heidän vastauksissaan oli käsitteitä, kuten eläinten

sukupuuttoon kuoleminen ja kierrätys. Näyttää siltä, että 3. ryhmän saama suora ohjeistus vaikutti heidän havaintoihinsa tärkeimmistä ilmaston lämpenemiseen liittyvistä käsitteistä.

Pohjois-Dakotan yliopiston WWIC eli *World Wide Web Instructional Committee*⁹ on kehittänyt eri tieteenalojen oppimissovelluksia. Näissä kaikissa yhteisenä tavoitteena on opettaa tieteen rakennetta ja käytäntöjä: tieteellistä ongelmanratkaisua, päättelyä, hypoteesin tekemistä ja testausta sekä kokeilevaa suunnittelua. Brian M. Slatorin ym. kirjoittamassa artikkelissa [Slator 1999] on esitelty seuraavat WWIC:n kehittämät sovellukset, *Geology Explorer*, *Blackwood* ja *Virtuaalinen Polynesia*.

Geology Explorer:

Geology Explorer on virtuaalinen maailma, jossa oppilas toimii geologin roolissa tutkiakseen kuvitteellisen planeetan geologiaa. Oppilaat osallistuvat tutkimusmatkan suunnitteluun, näytteiden keräämiseen ja käytännön tieteelliseen ongelmanratkaisuun. *Geology Explorer* -maailmasta on tehty sekä graafinen että tekstipohjainen versio. Pelatakseen peliä oppilas kuljetetaan planeetan pinnalle ja hän saa perussarjan työkaluja. Oppilaan on kirjattava ylös kaikki löytönsä sovelluksen elektroniseen lokikirjaan. Heille on myös annettu tehtäväksi sarja tutkimuksia, joiden tavoitteena on motivoida oppilaat katsomaan ympäristöään kriittisin silmin. Oppilaat tekevät havaintonsa, suorittavat pienet kokeet, havainnoivat ympäristöä ja yleisesti toimivat kuin geologit työssään toimisivat. Myös pisteenlaskujärjestelmä on kehitetty peliin, jotta oppilaat voivat kilpailla keskenään ja yksinään.

Blackwood:

Blackwood on virtuaalinen ympäristö, joka simuloi 1800-luvun kaupunkia läntisessä Amerikassa. Kaupungissa on monenlaisia älykkäitä ohjelmistoagentteja, joiden avulla simuloidaan kaupungin sen aikaista ekonomista ympäristöä. Opetuksellisessa pelissä pelaaja liittyy peliin ja toimii kauppiaan roolissa virtuaalisessa ympäristössä. Kaikki eivät kuitenkaan kilpaile samoilla markkinoilla, vaan roolit ovat vaihtuvia ja spesifejä. Esimerkiksi simulaa-

⁹ WWIC, <<http://wwic.ndsu.edu/>>

tiössä pelaaja saa yhden kahdeksasta roolista: seppä, vaunuseppä, kangastavaran kauppias, räätäli, hevuskärryseppä, metsäpalstan johtaja, nahkavaatteiden tekijä tai hevostallin johtaja. Pelaajat kilpailevat siis ainoastaan muiden samassa roolissa olevien pelaajien tai agenttien kanssa, ei kaikkien pelaajien kanssa. Samaan aikaan simulaation ekonomista ja kulttuurista elämää ylläpitää joukko ohjelmistoagenteja muun muassa saluunoissa, pankeissa, viestinviejinä ja sanomalehtien julkaisijoina.

Virtuaalinen Polynesia:

WWWIC:n suunnittelema *Virtuaalinen Polynesia* on immersiivinen, keinotekoinen ympäristö, jossa oppilaat voivat toimia joko antropologin tai kauppiaan roolissa, joka rantautuu läntiseen Polynesiaan Tyynellämerellä 1800-luvun vaihteessa. Virtuaalimaailma ja sen kulttuuri on mallinnettu Samoan saarien historian ajalta, jolloin länsimainen kulttuuri ei ollut vielä saapunut näille saarille. Sovelluksessa antropologit tarkkailevat ja tutkivat yhteiskuntaa sellaisena kuin se niihin aikoihin oli ja he voivat myös seurata kulttuurien kohtaamista kauppiaan saapumisen myötä. Kauppiaan tehtävänä on vaihtaa länsimaisia tavaroita samoalaiseihin tavaroihin, joilla voisi olla arvoa lännessä. Antropologin tarkoituksena on löytää kulttuuriin kuuluvia esineitä, jotka jollain tavalla valaisevat samoalaista yhteiskuntaa.

4.2.3 Taiteen alan sovellukset

Hyvä visuaalinen laatu on yksi humanististen alojen keinotodellisuussovelluksilta vaadittu ominaisuus. Esitettävien mallien on kuvattava hyvin yksityiskohtaisesti esitettävät tapahtumat, paikat tai esineet, joiden muodot, värit, tekstuurit ja ympäristön ilmiöt (esim. sumu, valo) on mallinnettu tarkasti. Esimerkkinä tällaisista sovelluksista seuraavassa tarkastellaan virtuaalista museota. Tässä tapauksessa termillä virtuaalinen museo tarkoitetaan interaktiivista, mutta ei välttämättä immersiiivistä, kolmiulotteista graafista sovellusta, jolla pyritään saavuttamaan samanlainen tunnelma kuin oikeassa museossa. Tässä kappaleessa lähteenä on käytetty G. Lepouraksen ym. kirjoittamaa artikkelia [Lepouras 2004] virtuaalisista museoista.

Lepouraksen ym. mukaan tällä hetkellä virtuaalisten museoiden toteutukset vaihtelevat täysin immersiiivisistä CAVE-järjestelmistä yksinkertaisiin multimediaesityksiin. Yksi esimerkki täysin immersiiiviseen CAVE-ympäristöön toteutetusta museosovelluksesta on *Foundation of the Hellenic World*, joka kuvaa muinaista Kreikkaa. Vastaavasti yksinkertaisimmat sovellukset virtuaalisista museoista löytyvät Internetistä (muun muassa Pisan torni, Louvren museo) ja niihin voidaan tutustua tavallisella PC:llä. Näiden korkea- ja matalatasoisten virtuaalimuseoiden välille on kehitetty myös keskitasoisia, suhteellisen edullisia, mutta kuitenkin tehokkaita järjestelmiä, joissa on hyödynnetty pöytämallista keinotodellisuusjärjestelmää, jossa on korkearesoluutioinen tai stereokuvaa esittävä näyttö.

Virtuaalinen museo voi tarjota vierailijalle laajennetun, todentuntuisen ja nautittavan esityksen näyttelystä. Näyttelyiden järjestäjien kannalta virtuaalinäyttelyn järjestäminen ei aseta samanlaisia vaatimuksia näyttelytilojen suhteen kuin aidot näyttelyt. Virtuaalinäyttelyn koon rajoitteet syntyvät lähinnä tietokonelaitteiston rajoituksista kun taas aidon näyttelyn kokoa voi rajoittaa käytettävissä oleva tila. Ympäristön esittäminen voi olla myös mahdotonta, jos esimerkiksi kyseessä on jokin historiallinen, nykyään jo tuhoutunut tai kauempana sijaitseva kohde. Samoin ihmisille vaarallisten ympäristöjen esittäminen on mahdollista virtuaalisessa museossa.

Näiden etujen ohella yleisölle avoimen virtuaalimuseon kehittämisessä tulee esiin useita haasteita: laitteiden hankinta ja ylläpito voi olla hyvin kallista, laitteet ovat usein kokeellisia ja joskus liian epävakaita yleiseen käyttöön, jotkut museovieraat saattavat myös kärsiä simulaattoripahoinvoinnista. Onnistuneen virtuaalimuseojärjestelmän suunnittelu ja kehittäminen ovat suhteellisen vaikeita ja monimutkaisia tehtäviä, joihin sisältyy muun muassa kulttuuristen, ergonomisten ja teknisten asioiden huomioon ottaminen.

Lepouraksen ym. artikkelissa on esitelty *Virtuaalimuseot*-projekti, jossa tarkoituksena oli luoda virtuaaliympäristö, jonka sisältämiä näyttelyitä museovieraat voisivat tarkastella joko Internetissä tai paikallisessa järjestelmässä. Virtuaaliympäristön tuli täyttää opetuselliset, tutkimukselliset ja kulttuuriset päämäärät. Projektissa toteutettiin ohjelmistotyökalut, joiden avulla museon henkilökunta pystyy lisäämään ja poistamaan näyttelyitä tarpeidensa

mukaan. Projektiin kuului kymmenen museota, yksi yksityinen museo ja loput Ateenan yliopistolle kuuluvia museoita, kuten esimerkiksi eläintieteellinen museo.

Virtuaalimuseon vaatimusten selvittäminen aloitettiin niin, että museon vierailijoista tallennettiin tarkka profiili, johon kirjattiin muun muassa äidinkieli, ammatti, mieltymykset ja ikäryhmä. Lisäksi selvitettiin museon piirteet, kuten museon tavoite, erityistarpeet, olemassa oleva perusrakenne sekä näyttelyt ja kokoelmat selvitettiin ja myöhemmin tallennettiin. Vierailijoiden ikäjakauma oli laaja. Suuri prosenttiosuus tuli koululaisista ja yliopistop opiskelijoista. Projektissa haluttiin kuitenkin luoda profiili museovieraasta, joka kattaisi mahdollisimman suuren osan vierailijoiden ominaisuuksista. Tallennettuja profiileja analysoitaessa ilmeni, että aikaisempaa tietokoneenkäyttökokemusta ei pidä vaatia käyttäjiltä. Monissa olemassa olevissa virtuaalimuseoissa tietokoneenkäytön hallitseva henkilö toimii oppaana ohjaamassa vierailijoita sovelluksen käytössä. Käyttäjän on kuitenkin pystyttävä itse hallitsemaan kokemustaan virtuaaliympäristössä. Ympäristön pitää olla helppo ja intuitiivinen käyttää. Sovelluksen käyttämisen on myös oltava helposti opittavissa.

Vaatimusanalyysin perusteella käyttäjän tulee pystyä suorittamaan seuraavanlaisia tehtäviä: navigoimaan virtuaalimuseossa, hankkimaan tietoa näyttelyistä ja manipuloimaan objekteja. Näyttelyn järjestäjien tulee edellisten lisäksi pystyä kokoamaan ja purkamaan näyttelyitä. Laitteistovaatimusten analysoinnin perusteella sopivimmaksi ratkaisuksi osoittautui vankkarakenteinen puoli-immersiivinen järjestelmä, joka olisi hankinta- ja käyttökustanuksiltaan keskihintainen sekä riittävän kestävä jokapäiväiseen käyttöön.

On myös huomattava, että virtuaalimuseon ympäristötekijät, kuten valaistus, näyttelyesineiden paikka ja suunta, sekä näyttelytilojen fyysinen rakenne, voivat vaikuttaa museossa navigoivan tai näyttelyitä katselevan vierailijan käyttäytymiseen ja heidän halukkuutensa katsoa tiettyä näyttelyä. Virtuaalinen museo mahdollistaa myös esineiden näytteille asettamisen tavallisessa museossa mahdottomalla tavalla, esimerkiksi pingviinin taustalle voidaan helposti luoda sen luonnollinen ympäristö, jäätikkö.



Kuva 8: Pigviini tavallisessa museossa sekä virtuaalimuseossa

Virtuaalimuseon vierailijan navigoiminen on pääasiassa tutkivaa, tarkoittaen sitä, että vierailija pikemminkin kuljeskelee ympäriinsä kuin etsii jotain tiettyä esinettä. Yhtäaikaiseen navigointiin ja objektien manipulointiin ei ole tarvetta, joten näyttelyesineen manipulointi on mahdollista vierailijan tullessa sopivan lähelle esinettä. Käyttäjän on myös kyettävä liikkumaan joissain osissa museota hitaammin ja joissain nopeammin, riippuen näyttelyiden kiinnostavuudesta. Tämän ominaisuuden toteuttaminen riippuu paljon käytettävästä kohdistuslaitteesta. Vaatimusanalyysin jälkeen sopivimmiksi laitteiksi, joilla mahdollista jokapäiväinen käyttö ja käytön opettelu on helppoa, osoittautuivat tavallinen hiiri, ohjausauva ja 3D-hiiri.

Navigoinnin ja esineiden manipuloinnin onnistunut toteutus riippuu suurimmaksi osaksi koko virtuaaliympäristön suunnittelusta ja syöttölaitteiden valinnasta. Prototyypin tarkoituksena oli testata suunnitteluun liittyviä kysymyksiä, kuten hallien ulkoasua, tilan arkkitehtuuria ja seinien tekstuureja sekä esineiden asemointia niiden manipuloinnin ja navigoinnin suhteen. Tämä arvioinnin tarkoituksena on antaa hyödyllisiä oivalluksia virtuaalisen näyttelyn suunnitteluun ja testata valittujen syöttölaitteiden sopivuus.



Kuva 9: Virtuaalisen museon käytävä

Virtuaalimuseon käyttöä tutkittiin seuraavan kokeen avulla. Kokeen tarkoituksena oli selvittää suunnitteluratkaisujen sopivuutta, joten tutkittiin todellisuuden tilannetta, jossa museon vierailija viettää mahdollisimman vähän aikaa virtuaalimuseoon tutustumiseen ja tämän jälkeen 5-20 minuuttia ympäristön tutkimiseen siellä.

Kokeeseen osallistujat olivat tyypillisiä eläintieteellisen museon kävijöitä, yhteensä 25 koehenkilöä, 14 miestä ja 11 naista, pääosin Ateenan yliopiston oppilaita ja tutkijoita, iältään 20–34. Useimmilla koehenkilöillä oli tietokoneenkäyttökokemusta, mutta vain kahdella kokemusta virtuaalitodellisuudesta tai 3D-peleistä.

Kokeen laitteisto muodostui PC-työasemasta, suljinlaseista sekä kolmesta eri syöttölaitteesta: tavallisesta hiirestä, ohjaussauvasta ja 3D-hiirestä. Jokaisella syöttölaitteella suoritettiin tietyt tehtävät ja näihin käytetty aika mitattiin. Alussa koehenkilöt saivat muutaman minuutin ajan tutustua virtuaaliympäristöön, jotta he perehtyisivät syöttölaitteiden käyttöön ja oppisivat kahden operaation (navigointi ja esineiden manipulointi) erot. Heille myös esiteltiin tehtävät ja reitti, jonka he kulkisivat kokeen aikana.

Koehenkilöt suorittivat runsaasti tehtäviä, jotka käsittivät virtuaalimuseon käyttäjän perustoiminnot ja nämä koehenkilöiden istunnot videoitiin. Lopuksi jokainen koehenkilö täytti

kyselylomakkeen, jossa oli kaksi osaa, henkilöprofiili ja itse virtuaalimuseoon liittyvät osiot.

Lepourauksen ym. mukaan kyselyiden, kokeen aikana tehtyjen muistiinpanojen sekä koehenkilön toiminnasta nauhoitetun videon analysoinnin perusteella ilmeni useita asioita, joihin sovelluksen suunnittelussa on kiinnitettävä erityistä huomiota. Huomattiin, että aloittelevien käyttäjien oli hankalaa kulkea kapeita käytäviä pitkin törmäämättä käytäviä rajaviin seiniin. Käyttäjillä oli myös samoja ongelmia tiettyjen kaarevien ja kallellaan olevien pintojen kanssa. Jos kaarevuus oli suuri, useat koehenkilöt eivät huomanneet mutkaa ollekaan ja törmäsivät seiniin. Joillain käyttäjillä oli myös ongelmia puoliläpinäkyvien seinien kanssa. Näiden seinien tarkoituksena on antaa kävijälle näkymä museon ulkopuolisesta tilasta ja siten lievittää klaustrofobisia tunteita. Kuitenkin useat koehenkilöt eivät erottaneet niitä aukoista. Kukaan ei kuitenkaan valittanut klaustrofobisesta tunnelmasta, vaan useimmat pitivät puoliläpinäkyvistä pinnoista, koska heillä oli mahdollisuus ihastella näkymää.

Käyttäjillä oli myös navigoinnin kanssa ongelmia, vaikka liikkumista olikin jo rajoitettu hieman hämmennyksen välttämiseksi. Liikkumista ja pyörimistä tulisi kuitenkin rajoittaa mahdollisimman paljon, jotta kognitiivinen taakka vähentyisi. Monet koehenkilöt antoivat negatiivista palautetta siitä, että virtuaaliympäristössä oli mahdollista lentää ja kallistaa katselukulmaa ylös ja alas samaan aikaan. Heidän mielestään yksi liikkeistä oli riittävä navigointiin, mieluummin lentäminen. He myös pitivät riittävänä näyttelyesineiden pyörittämistä ainoastaan pystyakselin ympäri, koska liiallinen esineen pyörittämismahdollisuus teki vaikeaksi esineen asettamisen juuri sopivaan asentoon. Myös liikkuminen kävelen lattiaa pitkin olisi ollut toivottu liikkumisominaisuus, koska lentäminen aiheutti usein törmäyksiä kattoon tai lattiaan.

5 Historian ja etnologian laitoksen esimerkkitapaukset

Jyväskylän yliopiston historian ja etnologian laitoksen tutkijat ovat osoittaneet aktiivista kiinnostusta keinotodellisuusteknologian hyödyntämiseksi tutkimuksessa. Tässä luvussa on esitelty kaksi esimerkkitapausta heidän ideoimistaan sovelluksista. Ensimmäinen sovellus, Virtuaalimuseo, on esitelty pääpiirteissään, koska sen toteuttamisesta ei ole tehty vielä mitään yksityiskohtaisempia projekti- ja rahoitussuunnitelmia. Toinen sovellusprojekti, *Aikamaisema*, tullaan käynnistämään vuoden 2007 aikana. *Aikamaisema*-hanke on täten määritelty tarkemmin ja sen vaatimuksia sekä toteutustapaa on suunniteltu pidemmälle. Luvussa esitetty *Aikamaiseman* suunnitelma on eräs vaihtoehto sovelluksen toteutukselle.

Tässä luvussa on käytetty lähteinä historian ja etnologian laitoksen tutkijoiden kanssa käytäjä keskusteluja ja aiheesta kirjoitettuja dokumentteja. Dokumentit ovat liitteinä tutkielman lopussa.

5.1 CASE: Virtuaalimuseo - museoiden museo

Ensimmäinen esille tullut sovellusehdotus on virtuaalinen museoiden museo, jossa on tarkoitus esitellä museoiden näyttely- ja tallennustoiminnan historiaa joko kansallisella tai jopa kansainvälisellä tasolla. Tämän sovelluksen toteuttaminen ei vielä ole ajankohtaista eikä mahdollistakaan, mutta idea siitä on syntynyt. Tämän takia virtuaaliseen museoiden museoon esille tulevien näyttelyiden aihepiirejä ei ole vielä määritelty tarkemmin. Tämä sovellus on myös niin laaja, että sen sisällön suunnittelemiseen menee hyvin paljon aikaa. Seuraavana on esitelty tämän virtuaalimuseon ideaa pääpiirteissään.

Virtuaalimuseossa käyttäjä voi itse kulkea suuressa museoiden museossa siten, että hän pääsee kulkemaan vuosisadalta toiselle ja eri museoiden museonäyttelystä toiseen. Näin käyttäjällä on mahdollisuus tarkastella eri aikoina vallinnutta tapaa tehdä museonäyttelyitä. Samalla käyttäjä pystyy seuraamaan ajassa tapahtuvia muutoksia koskien tiedon- ja oppimiskäsityksiä sekä näiden muutosten vaikutusta museonäyttelyiden luonteeseen. Näyttelyssä voi lisäksi olla perinteisen museon tapaan mahdollisuus tarkastella esineitä, saada niistä tietoa, tai kyseessä voi olla aikamatka jonnekin historialliseen kohteeseen, jossa käyttäjä pystyy kulkemaan itse ympäriinsä maisemaa tarkastellen. Näin käyttäjä voi tarkas-

tella kunkin aikakauden tallennusperiaatteita ja niissä tapahtuneita muutoksia. Käyttäjän on näyttelyiden katselemisen lisäksi mahdollista saada lisää tietoa kohteista esimerkiksi lukeamalla itse opastustekstejä tai kuuntelemalla virtuaalisen oppaan selostusta kohteista. Tavallisesta museosta poiketen käyttäjällä voisi olla myös mahdollisuus esimerkiksi käsitellä ja siirrellä näyttelyn esineitä ja historiallisten kohteiden tapauksessa maisemassa voisi olla muitakin vuorovaikutusmahdollisuuksia.

Sovelluksen toteutuksessa historian, museologian ja kulttuurintutkimuksen asiantuntijoiden tulisi tehdä tiivistä yhteistyötä ohjelmoijan ja mallintajan kanssa. Museoiden museoon esille tulevien näyttelyiden mallinnus on suurin urakka sovelluksessa. Historiallisten esineiden ja maisemien mallintaminen tulee olemaan vaativa työ, koska sopivaa materiaalia kohteista ei välttämättä ole kovinkaan helposti saatavilla ja haastavaa tulee myös olemaan mallien saaminen näyttämään oikeanlaisilta. Mallinnustyö helpottuisi, jos joistakin näyttelyesineistä olisi mahdollista saada valmiita 3D-malleja esimerkiksi jonkin toisen virtuaalimuseon kautta. Interaktion sekä museossa liikkumisen toteuttaminen vie vain vähän aikaa verrattuna mallinnukseen.

Varsinaista kokonaistyömäärää on vielä mahdotonta arvioida, koska virtuaalimuseon tuleva sisältö ei ole selvillä. Hankkeen aluksi kannattaisi toteuttaa yksinkertainen versio museosta, jossa olisi vain yksi näyttely. Näyttelyiden määrää voisi myöhemmin kasvattaa ja mahdollisesti museon näyttelyt voisivat olla vaihtuvia. Museoiden museosta voisi myös olla useita toteutuksia eri laitteistopohjille. Yksinkertaisimmillaan virtuaalimuseo voitaisiin toteuttaa Internetissä toimivana museona, joka olisi kaikille avoin. Toisaalta museosta voisi olla virtuaalipöydällä (tai PC:llä) toteutettu versio esimerkiksi Jyväskylän yliopiston museossa. Mahdollisesti virtuaalimuseo voitaisiin toteuttaa myös CAVE-ympäristöön, jossa uppoutuminen museomaailmaan olisi vielä syvempi. CAVE-versio tosin ei tulisi kovinkaan suuren kävijäjoukon saataville, joten se ei välttämättä olisi tarkoituksenmukainen.

5.2 CASE: *Aikamaisema*

Aikamaisema-sovelluksen tarkoituksena on esittää Hollolan kunnassa sijaitsevan Toivolan maalaiskylän maisemallisia muutoksia vuosien saatossa. Erityisesti tärkeää olisi saada kuvatuksi ihmisen toiminnan, kuten metsänhoidon, maanviljelyksen ja rakentamisen, aikaansaamia muutoksia maaseudun maisemassa, ja sitä millaisten vaiheiden kautta nykyinen Toivolan kylän maisema on muotoutunut. Muutoksia seurataan tietyin ajanjaksoin 600 vuoden ajalta. Ajanjaksot alkavat keskiajalta (1400-luvulta) ja päättyvät nykypäivään. Mallinnettavat ajankohdat määräytyvät saatavilla olevan materiaalin, jota esitellään myöhemmin tässä luvussa, ja maisemassa tapahtuneiden muutosten mukaan. Keskiajalla muutokset ovat tapahtuneet hitaammin kuin lähempänä nykypäivää, joten mallinnettavaa on enemmän 1900-luvulta kuin 1400-luvulta.

Sovellus toteutetaan immersiiiviseen CAVE-ympäristöön. Käyttäjä voi liikkua virtuaalisessa kylässä ja muokata näkymäänsä esimerkiksi avaamalla ovia rakennuksiin, astumalla niihin sisälle sekä tarkastelemalla kylässä olevia esineitä. Sovelluksessa käyttäjä pystyy tekemään matkan keskiaikaiseen Toivolan kylään ja siirtymään sieltä nykypäivään asti. Samalla käyttäjä voi seurata kylän kehittymistä ja tarkkailla maisemassa tapahtuvia muutoksia. Käyttäjä voi myös vertailla eri vuosien aikaisia maisemia keskenään.

Käyttäjä voi kulkea kylässä ja tarkkailla ympäristöään eri perspektiiveistä. Käyttäjällä on kaksi tapaa liikkua: maan pinnalla käveleminen (sammakkoperspektiivi) ja maan yläpuolella lentäminen (lintuperspektiivi). Katsellessaan maisemaa maanpinnan yläpuolelta, käyttäjä pystyy näkemään laajemmassa mittakaavassa ympäristön muutokset, kuten esimerkiksi peltoalueiden ja kylän keskustan kehittymisen. Liikkuessaan kylässä kävellen, käyttäjä voi taas kokea sen hetkisen elämän ja maiseman paremmin. Käyttäjä saa kylässä liikkueensa selville eri muodoissa olevaa tietoa kyseisen aikakauden elämästä ja maisemasta sekä mahdollisesti myös yksityiskohtaisempia tarinoita joistain tietyistä kylän kohteista tai tapahtumista. Tieto voidaan esittää esimerkiksi ääneen luettuna tarinana, videona, animaationa, tekstinä tai kuvasarjana. Käyttäjä voi liikkua kylässä eri rooleissa (esimerkiksi talo-poikana, piikana, renkinä) saaden näin juuri tähän rooliin soveltuvan kuvan kyseisen aikakauden elämästä kylässä.

Sovellus on tarkoitus toteuttaa poikkitieteellisen *Ihminen, aika, maisema* -projektin puitteissa, vuoden 2007 alusta lähtien. Kyseiseen projektiin liittyvä tutkimussuunnitelma on tämän tutkielman lopussa liitteenä (liite 1). Projektissa asiantuntemus sisällöntuotannon osalta tulee Jyväskylän yliopiston historian ja etnologian laitoksen tutkijoiden puolelta ja tekninen toteutus tapahtuu Jyväskylän yliopiston AVEC-laboratoriossa. Sovelluksen käyttötarkoituksia on useita. Ensisijaisesti sitä tullaan käyttämään tutkimuksessa, mutta muun muassa myös museo- ja opetuskäytön mahdollisuuksia tullaan kartoittamaan. Opetuskäyttöä varten sovelluksesta on tarkoitus tehdä myös web-selaimessa toimiva versio. Tämä versio toteutetaan vasta myöhemmin ensimmäisenä valmistuvan CAVE-version pohjalta omana projektinaan.

Sovelluksen toteutuksen keskiajalta lähtien mahdollistaa Toivolan kylästä olemassa oleva hyvin varhainen asiakirjamateriaali. Myös yksityiskohtaista karttamateriaalia on säilynyt 1700-luvun alkupuolelta lähtien. Lähteinä tullaan käyttämään näitä asiakirjoja, karttoja eri vuosisadoilta, valokuvia sekä muistitietoa. Näiden materiaalien avulla on mahdollista saada kuvattua Toivolan kylän maisemaa 600 vuoden ajalta. Koska materiaalissa ei kuitenkaan ole täydellisesti kuvattuna kaikkea sovelluksen toteuttamiseen tarvittavaa tietoa, joi-tain osia on pakko soveltaa ja keksiä itse sisällöntuotannosta vastaavien asiantuntijoiden avustuksella ja heidän harkintansa mukaisesti. Historiallista materiaalia saadaan käyttöön museoista ja muuta materiaalia kerätään itse esimerkiksi ottamalla valokuvia kylän nykyisestä maisemasta.

Seuraavaksi on esitelty tarkemmin tulevaa sovellusta, sen vaatimuksia sekä on alustavasti suunniteltu sovelluksen toteutusvaiheita ja -aikataulua.

5.2.1 Sovelluksen kuvaus

Sovellus toteutetaan immersiiiviseen CAVE-ympäristöön siten, että sovellus voidaan tarvittaessa siirtää PC:lle tai yhden projisointiseinän järjestelmälle.

Aikamaisemassa tullaan käyttämään laadullista esitysmuotoa [Sherman 2003, s.208-211]. Tarkoituksena on pyrkiä valokuvamaiseen tarkkuuteen aineiston esittämisessä. Ympäristön muutokset saadaan konkreettisesti näkyviin esittämällä maisemat mahdollisimman totuu-

denmukaisesti ja tarkasti. Seuraavaksi kuvataan sovelluksen toimintaa käyttäjän näkökulmasta.

Sovelluksen käynnistyessä käyttäjä näkee aluksi edessään kaukaa lintuperspektiivistä kuvattut maisemat kaikista mallinnetuista ajankohdista. Näistä hän voi valita ajankohdan, johon haluaa siirtyä. Näkymäksi vaihtuu tällöin tämän ajankohdan maisema lintuperspektiivistä kuvattuna. Käyttäjä voi lentää maiseman yläpuolella ja siirtyä lähemmäksi tai kauemmaksi maisemasta. Lentäessään aivan maan pinnalle käyttäjän katseluperspektiiviksi vaihtuu sammakkoperspektiivi. Käyttäjä voi sammakkoperspektiivissä liikkua kävelleen kaikkialla kylän alueella. Kun käyttäjä tulee tietoluukun kohdalle, hän pystyy avaamaan sen, jolloin luukun sisältö tulee käyttäjän nähtäväksi. Käyttäjä voi kylässä kiertelemisen jälkeen kohota uudestaan lintuperspektiiviin ja sitä kautta päästä takaisin näkymään kaikista mallinnetuista maisemista. Kaikki liikkuminen ja interaktio tapahtuvat Wandaa käyttämällä.

Jokaisen mallinnuksen tarkastelun alkaessa käyttäjä näkee maiseman ensimmäisenä aina lintuperspektiivissä, jolloin tulee esille kokonaiskuva kyseisestä maisemasta. Maisemassa voi olla korostettuina tiettyjä pisteitä, joita kohden käyttäjän kannattaa lähteä suunnistamaan. Näissä pisteissä on aina jokin tietoluukku. Käyttäjän siirtymä toiseen aikakauteen tulee tapahtua aina lintuperspektiivin kautta.

Luukuissa oleva tieto koskee itse kylän keskustan elämää, maanviljelyksen, liikenteen ja maankäytön kehittymistä. Jokaisessa mallinnuksessa voi myös olla erityinen tietoluukku, jossa kerrotaan jostakin kyseisen ajankohdan yleisemmästä tai merkittävästä tapahtumasta, kuten isoviha 1700-luvulla, kylän palaminen 1800-luvulla, sota-ajat eri vuosisadoilla, tai mielenkiintoisesta yksityiskohdasta, kuten esimerkiksi perimätietona kuultu kylän historiaan liittyvä tarina.

Mallinnettavat ajankohdat sijoittuvat pääosin kesäaikaan, koska silloin maalaiskylän elämä on ollut vilkkaimmillaan. Yksi vuosista tullaan todennäköisesti mallintamaan talviaikaan. Tämä tulee olemaan katovuosien maisema, jossa korostetaan kyseisenä aikana vallinneita kurjia olosuhteita.

Jokaisesta vuosisadasta tehdään vähintään yksi mallinnus. 1700- ja 1800-luvuilta tehdään kaksi ja 1900-luvulta tarpeen mukaan joko kaksi tai kolme mallinnusta. 2000-luvulta mallinnetaan nykypäivän tilanne. Mallinnusten tarkat ajankohdat määräytyvät sen mukaan milloin vuosisadan merkittävät muutokset ovat tapahtuneet. Samanlaisista maisemista ei siis tietenkään tarvitse tehdä useaa mallinnusta. Seuraavassa taulukossa on kuvattu Toivolan kylän tilannetta eri vuosisatoina. Jokaisen vuosisadan kohdalla on myös mainittu, jos vuosisadalta aiotaan tehdä useampi kuin yksi mallinnus.

Mallinnettava ajankohta	Kuvaus
1400-luku	<ul style="list-style-type: none"> – Kylässä on muutama talo. – Kaskiviljelyä, muutama pelto talojen vieressä. – Ympärillä metsää, niittyjä joen/ojan varrella. – Ylinen Viipurintie kulkee kylän rajalla, muut reitit polkuja.
1500-luku	<ul style="list-style-type: none"> – 9 taloa. – Pellot kyläkeskittymän lähellä, sarkajako, kaskiviljelyä. – Niityt alavilla mailla joen ja ojan varrella, metsien ympäröimänä. – Kukoistusta ennen vuosisadan lopun sotia.
1600-luku	<ul style="list-style-type: none"> – Autioituneita taloja, 1 veroa maksava talo. – Pellot kyläkeskittymän lähellä sarkajaossa, kaksivuoroviljely, edelleen kaskeamista, pellot aidattu, ojitusta vähän. – Niityt alavilla mailla joen ja ojan varrella, metsien ympäröimänä. – Vaikeita aikoja, sota- ja katoaikoja.
1700-luku:	<ul style="list-style-type: none"> – 2 mallinnusta 1700-luvulta. – On olemassa karttoja aikakaudelta. – Taloluku kasvanut, mutta ilman torppariutta. – Pellot kyläkeskittymän lähellä, kaksivuoroviljelyä, peruna uutuutena, pellot aidattu, ojitusta vähän. – Niityt alavilla mailla joen ja ojan varrella, metsien ympäröimä. – Isoviha ja pikkuviha vaikuttavat alueen elämään, mutta vuosisadan loppupuolella taloudellista kasvua.

1800-luku:	<ul style="list-style-type: none"> – 2 mallinnusta 1800-luvulta. – Isojaon vaikutus alueeseen, kyläyhteisön hajoaminen, vaikka 1802 vain kaksi taloa siirretään pois kyläkeskustasta. – Peltoalueen laajeneminen, niittyjen muokkaus ja ottaminen pelloksi, ojituksen lisääntyminen, pellot edelleen aidattuna. – Kylä palaa vuonna 1855, aiheuttaa tiiviin keskuskylän hajoamista, myös torppien syntyä. – Viipurintien kehitys, liikenteen lisääntymistä. – 1809 sotatoimet seudulla. – Todennäköisesti iso ero 1800-luvun alun ja lopun välillä, jonkinlaista modernisointia.
1900-luku:	<ul style="list-style-type: none"> – 2-3 mallinnusta 1900-luvulta. – Muutama iso kartanomainen talo 1900-luvun alusta. – Aika ennen toista maailmansotaa maanviljelyksen laajentuminen paikallisin voimin. – Uusjako vuosisadan alussa vie suurimman osan taloista kyläkeskuksesta muualle, syntyy mäkitupa-asutusta. – Aika ennen maaltapakoa toisen maailmansodan jälkeen ja maisema maaltapaon jälkeen. – Siirtokarjalaisten tulo uutena asutuksena II MS jälkeen. – Viipurintien kehitys ja uuden tielinjauksen tuleminen. – Eläimet häviävät kuvasta 1900-luvun loppupuolella, ei enää karjataloutta. – Laaja peltomaisema, mutta jäljellä on kuitenkin peltosaarekkeita, salaojitus kuitenkin vähentää ojien määrää. – Maanviljelyksen kehitys näkyy voimakkaasti tänä aikana.
2000-luku	<ul style="list-style-type: none"> – Nykyhetken tilanne.

Taulukko 5: Toivolan tilanne eri vuosisatoina, lähteenä Liite 2: 'Toivola kylätietoa'

5.2.2 Vaatimukset

Seuraavana on listattu *Aikamaiseman* toiminnallisia ja laadullisia vaatimuksia. Vaatimukset ovat suuntaa antavia ja varsinaisen projektin alkaessa näitä tullaan tarkentamaan. Vaatimukset liittyvät lopulliseen versioon CAVE-ympäristöön toteutettavasta sovelluksesta.

Toiminnalliset vaatimukset:

- Käyttäjällä kaksi liikkumistapaa ja katseluperspektiiviä:
 1. maan pinnalla kävely (sammakkoperspektiivi),

2. maanpinnan yläpuolella lentäminen (lintuperspektiivi).
- Käyttäjä voi muokata ympäristöä erilaisin tavoin:
 1. avata rakennusten ovia,
 2. astua rakennuksiin sisään,
 3. siirrellä ja tarkastella esineitä,
 4. aukaista löytämiään tietoluukkuja.
 - Tietoluukku sisältää:
 1. mielenkiintoisen tarinan jostakin tapahtumasta, sattumuksesta,
 2. tietoa jostakin kyseisen ajankohdan merkittävästä tapahtumasta tai ilmiöstä,
 3. tietoa maankäyttöön liittyvästä kehityksestä,
 4. tietoa kyseisen ajan elämäntavoista,
 5. tietoa liikenteen kehittymisestä.
 - Mallinnettavat ajankohdat sijoittuvat pääosin kesäaikaan, katovuosien mallinnus talviaikaan.
 - Käyttäjä liikkuu kylässä tietyssä roolissa:
 1. talonpoikana,
 2. irtolaisena,
 3. renkinä tai piikana,
 4. torpparina,
 5. pappina.
 - Kylän virtuaaliset asukkaat reagoivat käyttäjään tämän valitseman roolin vaatimalla tavalla.
 - Käyttäjä voi vaihtaa ajankohtaa siirtymällä lintuperspektiivin kautta näkymään kaikista mallinetuista maailmoista ja valitsemalla näistä sen, johon haluaa siirtyä.
 - Keskitytään kylän keskustan mallintamiseen eli keskusta mallinnetaan tarkemmin kuin esimerkiksi alueen metsät.
 - Jokaisessa ajankohdassa on kyseiseen hetkeen sopiva äänimaailma.

Laadulliset vaatimukset:

- Ylläpidettävyys: virtuaalimaailmojen tulee olla helposti muokattavissa ja päivitettävissä. (Työkalut virtuaalimaailmojen tuottamiseksi on toteutettava niin, että niillä luotujen maailmojen päivittäminen onnistuu helposti.)
- Sovelluksen 3D-mallien on oltava uudelleenkäytettäviä. (Luodaan mallikirjasto, jota voidaan hyödyntää muissa tutkimus- ja opetushankkeissa.)
- Mallien ja maiseman maaston generointia varten kehitettäviä työkaluja on oltava mahdollista käyttää myös muissa projekteissa. (Ne eivät ole sidoksissa Toivolan kylän ympäristöön.)
- Virtuaalimaailmoja on pystyttävä tuottamaan edullisesti ja nopeasti. (Tämä toteutuu uusien työkalujen kehittämisen johdosta).
- Helppokäyttöisyys: virtuaalimaailmassa liikkuminen ja vuorovaikuttaminen Wandan avulla on oltava helppoa käyttäjälle.
- Suorituskyky: vähintään 120 fps.

5.2.3 Pohdintaa tärkeimmistä vaatimuksista

Seuraavaksi on pohdittu sovelluksen toiminnallisten vaatimusten merkitystä tarkemmin.

Kaksi perspektiiviä

On tärkeää, että käyttäjä voi havainnoida kylän maisemaa kahdesta eri perspektiivistä, lintu- ja sammakkoperspektiiveistä. Käyttäjä näkee kylän sekä suuressa että pienessä mittakaavassa. Lintuperspektiivissä ollessaan käyttäjä havaitsee maankäytön muuttumisen eri vuosisatoina, sen miten peltojen ja asutuksen kehittyminen on vienyt tilaa metsiltä ja miten tieyhteydet ovat kehittyneet. Lintuperspektiivistä nähtyä maailmaa sanotaan havaintomaailmaksi.

Sammakkoperspektiivistä katsottuna käyttäjä voi seurata kylän asioita lähempää ja kokea millaista elämää kylässä on vietetty eri vuosisatoina. Tällöin kyse on kokemusmaailmasta. Kokemusmaailmassa on tärkeää huomata eri ajankohtien välillä ilmenevät muutokset kylän elämässä. Läheltä voidaan helpommin havaita eri aikakausien tunnelman, ovatko esimerkiksi katovuodet aiheuttaneet rappeutumista vai onko kylässä aistittavissa kukoistusta

hyvien satokausien johdosta. Sammakkoperspektiivissä pystytään myös näkemään tarkemmin maisemassa tapahtuneet pienemmät muutokset, jotka eivät välttämättä tule esille havaintomaailmassa.

Shermannin kirjassa [Sherman 2003, s. 332-359] mainituista navigointiin liittyvistä puolista tien löytämisellä ei ole *Aikamaisemassa* juurikaan merkitystä, koska käyttäjä itse voi päättää minne haluaa kulkea, eikä reittiä ole millään tavalla määritetty etukäteen. *Aikamaisemassa* matkustaminen tapahtuu joko lentäen tai kävellen. Lintuperspektiivissä käytössä oleva matkustustapa on lentäminen ja sammakkoperspektiivissä käveleminen.

Tietoluukut

Pelkkä maisemien ihailu ei kerro paljoakaan kylän kehityksestä muuten kuin maantieteellisesti. Tätä varten maisemaan upotetaan niin sanottuja tietoluukkuja, jotka sisältävät erilaisia tarinoita esimerkiksi kuvasarjoin tai animaation avulla esitettynä. Tietoluukkuja voi olla erilaisia, osa voi kertoa tiettyjen asioiden, kuten maanviljelyn, kylän asutuksen tai liikenteen, kehitysvaiheista eri aikakausina ja osa taas voi sisältää tietoa kyseessä olevan ajan kohdan merkittävästä ilmiöstä tai tapahtumasta. Merkittäviä tapahtumia ei välttämättä pysty pelkästä maisemasta havainnoimaan, jos ei tunne alueen historiaa kyseiseltä ajalta. Siinä tapauksessa on perusteltua esittää tällaiset tapahtumat omina tietoluukkuinaan. Tietoluukut tuovat sovellukseen keinotodellisuussovelluksille ominaista interaktiivisuutta. Tietoluukkujen etsiminen kylän maisemasta kannustaa käyttäjää seikkailemaan kylässä erilaisia reittejä pitkin ja samalla käyttäjän tulee havainnoitua maiseman muutoksia eri vuosisatojen välillä. Sovelluksen viihdearvoa voidaan lisätä laittamalla joidenkin tietoluukkujen taakse kiinnostavia tarinoita kyseiseltä vuosisadalta sen sijaan, että niissä olisikin vain selostusta maanviljelystavoista tai liikenteen kehityksestä.

Sherman [Sherman 2003, s. 286-292] jakaa virtuaalimaailman manipulointitavat neljään erilaiseen: suoraan, fyysiseen, virtuaaliseen ja agentin avulla tapahtuvaan ohjaukseen. *Aikamaisemassa* tapahtuva tietoluukkujen availu sekä seuraavassa kappaleessa käsiteltävä ympäristön muokkaaminen tapahtuu fyysisen ohjauksen (eli ohjaimen) avulla.

Ympäristön muokkaaminen

Käyttäjän uppoutumista virtuaaliseen kylään helpottaa se, että siellä on jotain käyttäjää kiinnostavaa tekemistä. Tietoluukut ovat ensisijainen tapa herättää käyttäjän kiinnostus, mutta ympäristöä on silti hyvä pystyä muokkaamaan myös muunlaisin tavoin. Ympäristö herättää paremmin kiinnostusta käyttäjässä, jos hän voi esimerkiksi käsitellä virtuaalimaailmasta löytyviä esineitä ja tarkastella näitä lähemmin tai astua kylän taloihin sisälle katselemaan niiden sisutusta. Tämä on erityisesti tärkeää opetuksen avuksi kehitettävässä *Aikamaiseman* web-versiossa, jotta oppilaat viihtyisivät paremmin sovelluksen parissa.

Kesäaika vai talviaika?

Suurimmassa osassa mallinnoista vallitseva vuodenaika on kesä. Kesäaika on valittu siksi, että silloin yleensä kylän elämä on vilkkaimmillaan ja maiseman muutokset havaitaan tietenkin helpommin, kun ei ole lunta maassa. Tästä poikkeuksena todennäköisesti yksi mallinnus tullaan tekemään talviaikaan. Katovuosien kurjuutta voidaan korostaa kuvaamalla näiden vuosien elämää talvella, jolloin ihmisten hyvin kurjat olot tulevat entistä paremmin esiin, kun kylässä paellaan talven kourissa ja ruokaa on niukasti. Lumen läsnäolo tuo myös sovelluksen käyttäjälle kylmyyden tunteen, joka saa käyttäjän uppoutumaan entistä paremmin kurjiin olosuhteisiin.

Roolit

Käyttäjä voi kulkea virtuaalisessa kylässä eri rooleissa. Valittu rooli vaikuttaa siihen mitä käyttäjä pystyy tekemään kylässä ja miten tämän kylässä kohtaamat virtuaaliset asukkaat reagoivat käyttäjään. Irtolaiseen ei suhtauduta kovinkaan positiivisesti, kun taas papistoon kuuluvaa henkilöä kohdellaan kunnioittavammin. Myös eri aikakausina eri rooleihin suhtautuminen voi vaihdella. Roolien olemassaolo lisää sovellukseen uusia ulottuvuuksia kannustamalla käyttäjää kokeilemaan monenlaisia rooleja eri aikakausina. Eri roolien näkökulmista saadut kokemukset voivat tuoda esille uudenlaista tietoa eri aikakausista ja kylän elämän muutoksista vuosisatojen välillä.

Äänimaailma

Sopivalla äänimaailmalla voidaan kuvata hyvin kyseistä aikakautta. Kolmiulotteinen äänimaailma on tärkeä osa immersiiivistä keinotodellisuuskokemusta, koska äänen kuuleminen auttaa käyttäjää uppoutumaan ympäristöön. Vuosisadat on mahdollista erottaa toisistaan myös äänimaailman avulla. Todennäköisesti 1600-luvun katoaikoina, jolloin kylä on autioitunut, äännet ovat täysin erilaisia verrattuna esimerkiksi 1500-luvun lopun kukoistuskautteen. Myös viljelystapojen muuttuminen ja työkalujen kehittyminen sekä liikenteen lisääntyminen muuttaa äänimaailmaa paljon.

5.2.4 Sovelluksen toteuttamisen suunnitelma

Sovellus on tarkoitus toteuttaa vaiheittain, koska rahoituksen saaminen kerralla näin suurelle projektille on vaikeaa. Ensimmäisessä vaiheessa sovelluksesta toteutetaan yksinkertainen versio, joka sisältää kaikki lopullisen sovelluksen toiminnot, mutta mallinnettuna on vain pieni alue koko kylästä yhdeltä vuosisadalta. Seuraavassa vaiheessa monimutkaistetaan toimintoja sekä tehdään muiden vuosisatojen mallinnukset.

Ensimmäinen versio *Aikamaisema*-sovelluksesta tulee käsittämään vain kylän keskustan alueen, joka on noin 4 km². Lopullisessa versiossa mallinnettu alue on kooltaan noin 40 km². Ensimmäisessä versiossa pyritään saamaan ihmisen päivittäin käyttämä alue kylässä mallinnettua tarkasti, mutta esimerkiksi metsien mallinnuksessa voidaan karsia kuvaamalla ne pelkistetympin. Tarkoituksena on säästää mallinnukseen menevää aikaa, jotta saataisiin mahdollisimman nopeasti toteutettua toimiva prototyyppi sovelluksesta. Prototyypissä pitäisi kuitenkin maiseman vertailu nykyhetken maisemaan olla jollain tapaa mahdollista. Tämä voitaisiin toteuttaa esimerkiksi valokuvista koostetun panoraamakuvan avulla niin, että käyttäjän olisi mahdollista vertailla keskenään nykyhetkestä otettua panoraamakuvaa ja mallinnettua maisemaa.

Lopullisessa sovelluksessa tarvitaan todella paljon 3D-malleja mallinnettavan alueen laajuudesta johtuen. Sopivia malleja saattaa löytyä erinäisistä mallikirjastoista, mutta näiden käyttö voi olla maksullista ja jää harkittavaksi kannattaako niitä käyttää vai onko taloudellisesti kannattavampaa tehdä mallit itse. Mallien täytyy olla Suomen maaseudulle soveltu-

via, joten todennäköisesti suuri osa täytyy mallintaa itse. Tämän johdosta projektin puitteissa tuotetaan myös kansallinen mallikirjasto *Aikamaisemassa* käytetyistä malleista.

Maaston mallinnukseen täytyy kehittää oma ohjelmisto. Tämän ohjelmiston tarkoituksena on maaston topografian ja muun muassa järvien, jokien sekä peltojen määrittäminen oikeille paikoilleen esimerkiksi peruskartan pohjalta ja 3D-mallin tuottaminen tästä maastosta. Vapaasti saatavilla oleva satelliittidata 3D-mallin tuottamiseen Suomen alueelta on mitattu liian epätarkasti (30–90 metriä), minkä takia sitä voidaan pitää käyttökelvottomana. Satelliittikartoitusta tekeviltä yrityksiltä voi ostaa parhaimmillaan noin yhden metrin tarkkuudella mitattua satelliittidataa, mutta sen hankkiminen ei ole taloudellisesti mahdollista yliopistorahoituksella (noin 16 000 euroa per neliökilometri).

Mallinnus tulee olemaan erittäin työläs vaihe, koska erilaisia 3D-malleja tarvitaan hyvin paljon ja osa malleista kuvaa historiallisia kohteita, joista ei välttämättä ole mitään kuvamateriaalia saatavilla. Virtuaalimaailman tuottamisessa suuri osa asioista ja yksityiskohdistusta tulee siis jäämään tulkintojen ja historioitsijoiden harkinnan varaan. Kylä on varsinkin keskiaikaisissa malleissa paljolti metsän peitossa, joten erilaisia lehtipuiden ja havupuiden malleja tarvitaan useita. Kaikki puut eivät tietenkään voi olla samannäköisiä, koska virtuaalimaailman on tarkoitus näyttää realistiselta. Samasta puulajista pitääkin tehdä useita malleja. Tämän takia saattaa olla aiheellista toteuttaa myös ohjelmisto, joka generoi hievan erilaisia malleja tietyn perusmallin pohjalta. Ennen tällaisen ohjelmiston toteutusta täytyy tietenkin selvittää löytyykö sopivaan hintaan jo valmista työkalua, jota voitaisiin hyödyntää mallien generoinnissa.

Muita kasvillisuuteen ja ympäristöön liittyviä osia kylässä ovat muun muassa pellot, niityt, kivet, kalliot, suot, vesistöt, tiet ja aidat. Näidenkin mallinnuksessa mahdollisuus useiden samankaltaisten mallien generointiin ohjelmallisesti voisi olla hyödyllistä.

Tärkeänä osana kylän maisemaa ovat rakennukset, esineet, eläimet ja ihmiset jotka todennäköisesti täytyy mallintaa itse, jotta niistä saadaan oikean näköisiä. Mallinnuksessa mallintajan ja historioitsijan on toimittava yhteistyössä, jotta mallit tulevat näyttämään jokaisen vuosisadan osalta oikeanlaisilta. Apuna mallinnuksessa käytetään karttoja, kuvia, kirjallisia kuvauksia ja tämän hetken maisemaa.

Mallinnuksessa lähdetään liikkeelle 1700-luvun maisemasta, koska siltä ajalta on jo saatavilla karttoja, mutta maisema on kuitenkin vielä paljon yksikertaisempi verrattuna nykypäivään. Aluksi tarkoituksena on saada aikaan yksi malli kylästä. Tämän jälkeen voidaan alkaa laajentamaan sovellusta seuraaville vuosisadoille ja saada mallinnettua ensimmäisen mallin pohjalta muut maisemat. Lähempänä nykypäivää mallinnettavaa on enemmän ja maiseman yksityiskohdat lisääntyvät.

Käyttäjän on tarkoitus pystyä liikkumaan vain Toivolan kylän alueella, mutta lopullista versiota varten mallinnusta täytyy tehdä jonkin verran myös naapurikylien alueelta, jotta maisema ei missään vaiheessa lopu kesken virtuaalikylässä liikkujan näkökulmasta.

Sovelluksen toteutustapa ja itse tehtävän ohjelmoinnin määrä riippuu valituista työkaluista. Paljon aikaa vievän mallinnusprosessin vuoksi olisi hyvä löytää sopiva työkaluohjelmisto sovelluksen toteutusta varten, jotta koko sovellusta ei tarvitsisi toteuttaa alusta lähtien itse. Seuraavana on esitelty eräs mahdollinen ohjelmisto sovelluksen toteutukseen.

5.2.5 Yksi toteutustapa: VTP

Sovelluksen toteutukseen voidaan mahdollisesti käyttää VTP (*Virtual Terrain Project*) -nimistä avoimen lähdekoodin työkaluohjelmistoa. Tässä luvussa VTP:stä kertovien tietojen lähteenä on käytetty VTP:n kotisivua [VTP 2006] ja online-dokumentaatiota [VTPdoc 2006].

VTP on työkaluohjelmisto, joka on tarkoitettu kolmiulotteisten interaktiivisten virtuaali-maailmojen luomiseen todellisen maailman kohteista. Siinä on valmiiksi toteutettuna navigoiminen virtuaalimaailmassa, ja siinä voidaan lisätä maisemaan erilaisia valmiita objekteja, kuten rakennuksia, teitä, kasvillisuutta, aitoja, sekä omia 3D-malleja.

VTP on valittu työkaluksi, koska sillä on mahdollista esittää maasto suoraan stereokuvana, siellä pystytään navigoimaan ja sinne pystyy lisäämään itse tehtyjä malleja sekä jo valmiiksi määriteltäviä objekteja. Koska VTP on avoimen lähdekoodin ohjelmisto, *Aikamaiseman* vaatima interaktiokomponentti on mahdollista ohjelmoida suoraan VTP:n yhteyteen.

VTP:hen kuuluu 4 erilaista työkalua: VTBuilder, Enviro, BExtractor ja CManager. Näistä keskeisin on Enviro, jota käytetään virtuaalimaailman esittämiseen kolmiulotteisena ja siellä navigoimiseen. Enviro-työkalun avulla virtuaalimaailmaan voidaan myös lisätä objekteja. VTBuilder (*Virtual Terrain Builder*) on tarkoitettu maanpintaa käsittelevän datan esittämiseen ja prosessointiin. Se voi käsitellä monia erilaisia tiedostomuotoja ja tuottaa niitä Eviroille sopivaan muotoon. BExtractorin avulla voidaan määrittää rakennusten sijainnit maisemassa. CManageria voidaan käyttää esimerkiksi omien 3D-mallien järjestämiseen ja luokitteluun.

VTP:ssä virtuaalimaailmaan voidaan tuoda omia 3D-malleja monella tavalla. Tämän voi tehdä joko VTBuilderissa lisäämällä karttaan, Envirossa lisäämällä suoraan kolmiulotteiseen virtuaalimaailmaan tai ohjelmoimalla käyttäen *vtlib*-kirjaston funktioita. Omat objektit voivat olla missä tahansa OpenSceneGraph-ohjelmiston [OSG 2004] tunnistamassa tiedostomuodossa. Tyypilliset malleissa käytetyt tiedostomuodot ovat:

- **.3ds** (3DS MAX, AutoCAD)
- **.lwo** (Lightwave)
- **.flt** (OpenFlight)
- **.obj** (old Alias Wavefront format)
- **.osg** (OpenSceneGraph native format)

Koko kylän maiseman koostaminen VTP:tä käyttäen tapahtuu useissa vaiheissa. Ennen koko maiseman koostamista tarkoituksena on kehittää työkalu kylän maaston muotojen mallinnukseen. Sen olisi myös hyvä pystyä sijoittamaan tiet, pellot ja vesistöalueet oikeille paikoille maastossa esimerkiksi peruskartan pohjalta. Aluksi tämän työkalun avulla generoidaan maastosta malli, joka voidaan siirtää Enviroon. Envirossa voidaan aloittaa kylän luominen lisäämällä maisemaan omia 3D-malleja muun muassa rakennuksista, esineistä, kasvillisuudesta ja ihmisistä. Maiseman koostamisen ohella voidaan alkaa myös ohjelmoimaan sovelluksen toiminnallisuutta. Tietoluukut täytyy toteuttaa ja sijoittaa oikeisiin kohtiin maastossa. Roolin valinta toteutetaan samaan näkymään maiseman (ajankohdan) valinnan kanssa eli heti sovelluksen alussa käyttäjä valitsee maiseman lisäksi roolin. Rooli

vaikuttaa kyseisen maiseman toiminnallisuuteen, mutta maisema pysyy jokaisella roolilla samana.

5.2.6 Projektin vaiheet ja alustava aikataulusuunnitelma

Aikamaiseman toteutus jakautuu pääpiirteissään kahteen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa kerätään kuvamateriaalia muun muassa valokuvaamalla mallinnettavaa maastoa ja siihen kuuluvia objekteja Toivolan kylässä. Samaan aikaan kerätään ja analysoidaan historiallista ja etnologista tutkimusaineistoa sekä kirjoitetaan sovellusta varten sisällöllistä käsikirjoitusta. Kerätyn digitaalisen aineiston pohjalta toteutetaan ensimmäiseksi kolmiulotteisen maaston automatisoituun tuottamiseen ja editoitiin tarvittavat ohjelmistot. Ohjelmistojen kehittämisen rinnalla mallinnetaan sovelluksen prototyypiversion objekteja ja tuotetaan ensimmäinen versio sovelluksesta.

Prototyypiversion ei vielä sisällä kaikkia mallinnuksia jokaiselta vuosisadalta. Näiden on tarkoitus olla valmiina toisen vaiheen aikana toteutettavassa versiossa. Prototyypiversion ja hanketta on tarkoitus esitellä kansainväliselle tutkijayleisölle Jyväskylässä marraskuussa 2007 järjestettävässä historialliseen kartallistamiseen perehtyvässä tutkijatapaamisessa.

Hankkeen toisessa vaiheessa kehitetään sovelluksen lopullinen versio, joka sisältää kaikki mallinnettavat maailmat. Toisessa vaiheessa tarkoituksena on myös kehittää mallinnusmenetelmiä ja konenäköalgoritmeja, joiden avulla virtuaalimaailman objekteja voidaan tuottaa suoraan valokuvien pohjalta. Luonnon monimuotoisuuden takia on tärkeää kehittää menetelmiä, joilla virtuaalimaailman objekteista voidaan automaattisesti luoda useita realistisilta vaikuttavia variaatioita.

Hankkeen ensimmäinen vaihe on tarkoitus toteuttaa vuonna 2007. Toinen vaihe voidaan aloittaa vuoden 2008 alkupuolella ja sen tavoiteaikataulu riittävän rahoituksen järjestyessä on vuosi 2009.



Kuva 10: *Aikamaiseman* toteutusvaiheet aikajanalla

6 Yhteenveto

Keinotodellisuus on tietokoneen avulla luotu keinotekoinen ympäristö, jonka olemassaolo vaikuttaa uskottavalta ja jonka kanssa voi olla vuorovaikutuksessa. Ihminen havaitsee ympäristön aistiensa kautta (näkemällä, kuulemalla tai tuntemalla) ja kokee olevansa uppoutuneena virtuaaliseen maailmaan. Pelkkä käyttäjän uppoutuminen ei riitä, vaan hän voi myös liikkua virtuaalimaailmassa, katsella sitä eri kulmista ja muuttaa sitä. Keinotodellisuusympäristön täytyy olla myös interaktiivinen eli sen pitää vastata käyttäjän toimintaan reaaliajassa, jotta kokemus vaikuttaisi käyttäjältä mahdollisimman todelliselta.

Keinotodellisuusjärjestelmä koostuu syöttölaitteista ja näyttölaitteista. Syöttölaitteiden avulla järjestelmä saa tiedon käyttäjän liikkeistä ja toimista virtuaalimaailmassa. Näyttölaitteilla käyttäjälle esitetään virtuaalimaailmaa. Näyttölaite voi olla pieni, päässä pidettävä kypäränäyttö, huoneen kokoinen projektioon perustuva järjestelmä tai jotain näiden väliltä. Myös ääntä ja tuntopalautetta tuottavia laitteita käytetään keinotodellisuusjärjestelmissä lisäämään immersion tunnetta käyttäjälle.

Keinotodellisuusympäristö sopii monien alojen tutkimukseen. Se mahdollistaa simuloidun kokemuksen fyysisestä todellisuudesta tai reaali maailmassa mahdolliseksi osoittautuneen tilanteen simuloinnin. Keinotodellisuuden avulla voidaan myös tarkoituksellisesti vähentää fyysisessä todellisuudessa ilmenevää vaaran tunnetta. Keinotodellisuutta on käytetty paljon teknisillä ja luonnontieteellisillä aloilla tutkimuksessa ja tuotekehittämissä. Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää mahdollisuuksia soveltaa keinotodellisuutta ihmisläheisissä tieteissä. Psykologian, oppimisen ja taiteen aloille sijoituvia sovelluksia on tehty runsaasti maailmalla. Psykologiassa useimmat sovellukset keskittyvät simuloimaan tiettyä fobian aiheuttajaa, jolloin niitä voidaan käyttää apuna peloista kärsivien potilaiden hoitamisessa altistusterapian avulla. Oppimisen saralla on tutkittu paljon keinotodellisuussovellusten hyödyllisyyttä opetuskäytössä. Taiteen alalla useimmat keinotodellisuussovellukset ovat virtuaalimuseoita, joita on tehty paljon ympäri maailmaa.

Kolmiulotteisessa keinotodellisuusympäristössä tieto on mahdollista muuntaa kokemukselliseksi ja jopa elämykselliseksi tapahtumaksi. Tästä johtuen keinotodellisuus on oivallinen ympäristö ihmisläheisten tieteiden soveltamiseen niin opetuksessa kuin tieteellisessä tut-

kimuksessakin. Myös esimerkiksi taide voidaan kokea aivan uudella tavalla normaalista taidenäyttelystä poikkeavassa ympäristössä, jossa on mahdollisuus aivan uudentyyppisiin innovaatioihin taiteen esittämisen osalta.

Kaikissa ihmisläheisten tieteiden sovelluksissa on yhteistä se, että käyttäjät eivät yleensä ole kokeneita tietokoneen käyttäjiä. Tämän takia sovellusten tulisi olla aina mahdollisimman helppokäyttöisiä. Keinotodellisuuslaitteistoihin liittyvien syötelaitteiden käyttö voi tuntua tavallisista käyttäjistä paljon tavallisen PC:n käyttöä hankalammalta. Niiden käyttö vaatii jonkin verran harjoittelua ennen kuin virtuaalimaailmassa navigoiminen onnistuu sujuvasti. Virtuaalimaailman interaktioiden kehittäminen ihmisläheisten tieteiden sovelluksiin onkin hyvin haasteellista.

Ihmisläheisten alojen keinotodellisuussovelluksia käytetään paljon tieteellisessä tutkimuksessa, mutta niitä on jonkin verran myös tuotantokäytössä. Kaikkein käytännönläheisimmät ihmisläheiset keinotodellisuussovellukset ovat usein psykologian alan sovelluksia, joissa altistetaan fobiasta kärsiviä ihmisiä kohtaamaan pelkonsa. Altistusterapiassa käytettävät keinotodellisuussovellukset ovat yleensä tehokkaita, koska potilas voi uppoutua ympäristöön ja kokea pelottavan kokemuksen, mutta olla silti turvallisessa ympäristössä. Monet potilaat pitävätkin virtuaalisessa ympäristössä tehtyä terapiaa miellyttävämpänä, kuin perinteistä altistusterapiaa, jossa kohdataan pelon kohde suoraan. Vaikka keinotodellisuuslaitteistot ovat kalliita, altistusterapiassa niiden käyttö voi olla taloudellisessa mielessäkin kannattavaa. Esimerkiksi lentopelon hoitaminen virtuaalisesti on usein edullisempaa kuin mitä oikeita lentokoneita käyttämällä olisi. Psykologian alalla keinotodellisuuden käyttö on hyödyllistä niin potilaan kuin terapian järjestäjänkin kannalta.

Oppimistarkoitukseen kehitettyjä keinotodellisuussovelluksia on mahdollista käyttää opetuksen apuna, mutta se ei välttämättä ole kovinkaan käytännöllistä, koska immersiiiviset keinotodellisuuslaitteistot ovat kalliita ja usein monimutkaisia käyttää. Tämän takia keinotodellisuussovelluksia ei ehkä kovin yleisesti voida käyttää oppimiseen. Oppimissovelluksia on lähinnä toteutettu tutkimuksiin, joissa keinotodellisuussovellusten hyödyllisyyttä ja käyttömahdollisuuksia opetuksen saralla on kartoitettu. Sovellukset on todettu hyvin vaikuttaviksi kokemuksiksi, jolloin pahimmassa tapauksessa oppilas kehittää omia teorioita

taan aiheesta ja oikea asia jää varjoon. Toisaalta keinotodellisuussovellukset, kuten myös muut tietokonesovellukset, voivat tuoda lisää sisältöä opetukseen ja oppilaat pitävät niiden käyttöä mukavana kokemuksena.

Taiteen alalla virtuaalimuseoita eli keinotodellisuusympäristöön sijoitettuja museoita on paljon tarjolla niiden hyödyllisyyden ja käytettävyyden takia. Virtuaalimuseo voi olla hyödyllinen monestakin syystä. Esimerkiksi tilan puutteen vuoksi voi olla aiheellista esittää osa esineistä virtuaalisesti. Myös mielikuvituksellisemmat näyttelyt esimerkiksi muinaisista maailmoista voidaan saada aikaan virtuaalisesti. Virtuaalimuseo voidaan myös sijoittaa internetiin, jolloin museossa voi vieraila yhä enemmän ihmisiä eri puolilta maailmaa. Virtuaalimuseossa esineet eivät kuitenkaan välttämättä näytä niin yksityiskohtaisilta tai todellisilta kuin mitä oikeassa museossa ja tunnelma on hieman erilainen. Etuna virtuaalimuseossa kuitenkin on se, että kohteet voidaan esittää niiden omassa ympäristössä, niille voidaan siis kehittää uskottavampi tausta, mitä perinteisessä museossa olisi mahdollista. Virtuaalimuseossa voidaan saada aikaan aivan uudenlainen tunnelma verrattuna perinteiseen museoon. Tämä ei tietenkään kaikkia museokävijöitä voi miellyttää, mutta toisaalta se voi saada paikalle uusia erilaisesta museokokemuksesta kiinnostuneita henkilöitä. Virtuaalimuseon on tärkeää olla intuitiivinen ja käyttäjäystävällinen koko ajan vaihtuvan käyttäjäkunnan ja nopeiden käyttötilanteiden takia. Virtuaalimuseon laitteiston täytyy myös olla kestävä ja jokapäiväiseen käyttöön soveltuva.

Oman virtuaalimuseon kehittäminen on myös yksi Jyväskylän yliopiston historian ja etnologian laitoksen tutkijoita kiinnostava ajatus. Tämän virtuaalimuseon tarkoituksena on olla paljon laajempi kokonaisuus tavallisempiin virtuaalimuseoihin verrattuna. Siinä yhdistetään useita museoita saman museon alaisuuteen, jolloin saadaan aikaan virtuaalinen museoiden museo. Tavallisessa virtuaalimuseossa museossa liikutaan tiettyjä reittejä tai käytäviä pitkin ja tarkastellaan näyttelyesineitä. Museoiden museossa näiden näyttelyesineiden tilalla onkin toisia museoita. Osa näistä museoista on tavallisen virtuaalimuseon kaltaisia ja osa saattaa olla esimerkiksi aikamatkoja jonnekin historialliseen kohteeseen. Virtuaalisessa museoiden museossa on tarkoituksena erilaisten näyttelyiden esittämisen ohella esitellä eri vuosisadoilla vallinneita tapoja tehdä museonäyttelyitä. Tämä museo on hyvin haastava

toteutettava. Sisällöntuotannossa ja mallinnuksessa tulee olemaan hyvin suuri työ, jos sovellus toteutetaan tässä laajuudessa.

Toinen Jyväskylän yliopiston historian ja etnologian laitoksen tutkijoiden sovellusehdotus on *Aikamaisema*, jonka suunnitteluprosessi on jo edennyt pidemmälle. *Aikamaisemassa* tarkoituksena on kuvata maalaiskylän maisemallisia muutoksia vuosien saatossa. Sovelluksen suunnittelu on alkanut osana tätä tutkimusta ja se tulee jatkumaan tästä eteenpäin AVEC-laboratoriossa. *Aikamaisema*-sovelluksen osalta sisällöllistä suunnittelua jatketaan alan asiantuntijoiden kanssa yhteistyössä. Samalla aletaan kehittää sovellusta varten tarvittavia työkaluja sekä mallintamaan ensimmäisiä versioita maiseman objekteista.

Aikamaisema on hieman erilainen sovellus verrattuna mihinkään muihin tässä tutkimuksessa käsiteltyihin ihmisläheisiin sovelluksiin. Se on hyvin suuri projekti tavallisimpiin keinotodellisuussovelluksiin verrattuna. *Aikamaisemassa* mallinnusta tehdään huomattavan suurelta alueelta (n. 40 km²). Näin suurista alueista realistisia mallinnuksia ei ole tehty kuin sotilaskäyttöön tarkoitettuja simulaattoreita varten.

Keinotodellisuus on juuri sopiva ympäristö *Aikamaiseman* kaltaiselle sovellukselle. Siinä on tarkoituksena kokea vuosisatojen kuluessa tapahtuvat muutokset maisemassa, mikä onnistuu hyvin immersiiivisessä keinotodellisuusympäristössä, jossa käyttäjä voi uppoutua sisälle virtuaaliseen maailmaan. Kokemuksesta voidaan keinotodellisuudessa saada paljon normaalia PC-pohjaista sovellusta elämyksellisempi ja näin myös paremmin mieleen jäävä kokemus. Maiseman muutokset tulevat hyvin esille CAVE-ympäristössä, jossa näkymä on laaja ja käyttäjä voi katsella kylän maisemaa eri perspektiiveistä. *Aikamaisema* tulee olemaan hyvä esimerkki siitä kuinka keinotodellisuusympäristö soveltuu ihmisläheisten tieteenalojen käyttöön.

Lähteet

[Bierbaum 1998] Allen Bierbaum, Christopher Just, "Software Tools for Virtual Reality Application Development", ACM SIGGRAPH 1998, Orlando, Florida, USA, saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL:

<http://www.vrjuggler.org/pub/vr.dev.tools.1998.SIGGRAPH98.pdf>>, 1998.

[Brooks 1999] Frederick P. Brooks Jr., *What's Real About Virtual Reality*, IEEE Computer Graphics and Applications, 19/1999, s. 16-27.

[Browning 1993] Drew R. Browning, Carolina Cruz-Neira, Daniel J. Sandin, Thomas A. DeFanti, "Projection-Based Virtual Environments and Disability", saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL: http://www.evl.uic.edu/EVL/RESEARCH/PAPERS/DREW/proj_vr.html>, 06/1993.

[Cruz-Neira 2003] Carolina Cruz-Neira, *Computational Humanities: The New Challenge for VR*, IEEE Computer Graphics and Applications, 23/2003, s. 10-13.

[Difede 2002] Joann Difede, Hunter G. Hoffman, *Virtual Reality Exposure Therapy for World Trade Center Post-traumatic Stress Disorder: A Case Report*, CyberPsychology & Behavior, 5/2002, s. 529-535.

[Diverse 2005] "DIVERSE - An Open Source Virtual Reality Toolkit", saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL: <http://diverse-vr.org/>>, viitattu 4.11.2005.

[Fernie 2002] Kate Fernie, Julian D. Richards, "Creating and Using Virtual Reality: a Guide for the Arts and Humanities", Arts and Humanities Data Service, saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL:

http://vads.ahds.ac.uk/guides/vr_guide/index.html>, 2002.

[GMD 2000] GMD, German National Research Center for Information Technology, "Avango, The Virtual Environment Framework", saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL: <http://www.imk.fraunhofer.de/sixcms/media.php/130/avango.pdf>>, 01/2000.

[HITLab 2007] Human Interface Technology Lab, "HITLab Projects: VR Pain Control", saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL:

<http://www.hitl.washington.edu/projects/vrpain/>>, viitattu 16.6.2007.

[Hodges 2001] Larry F. Hodges, Page Anderson, Grigore C. Burdea, Hunter G. Hoffman, Barbara O. Rothbaum, *Treating psychological and physical disorders with VR*, IEEE Computer Graphics and Applications, 21/2001, s. 25-33.

[Iowa 2001] Iowa State University, "What Is VR Juggler?", saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL:

http://www.vrjuggler.org/twiki_public/bin/view/Juggler/WhatIsVRJuggler>, 2001.

[Jackson 2000] Randolph L. Jackson, Eileen Fagan, *Collaboration and Learning within Immersive Virtual Reality*, Collaborative Virtual Environments conference, ACM Press, New York USA, 2000, s.83-92.

[Lepouras 2004] G. Lepouras, A. Katifori, C. Vassilakis, D. Charitos, *Real exhibitions in a virtual museum*, Virtual Reality, Springer-Verlag London Ltd, 7/2004, s.120-128.

[OpenGL 2004] "OpenGL Overview", saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL:

<http://www.opengl.org/about/overview.html>>, 2004.

[Open Inventor 2003] Silicon Graphics, Inc., "Open Inventor Overview", saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL: <http://oss.sgi.com/projects/inventor/>>, 2003.

[OSG 2004] OSG Community, "OpenSceneGraph", saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL: <http://www.openscenegraph.org/>>, 2004.

[PowerWall 1998] "PowerWall", saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL:

<http://www.lcse.umn.edu/research/powerwall/powerwall.html>>, 6.2.1998.

[Reitmaa 1995] Ilpo Reitmaa, Jukka Vanhala, Ari Kauttu, Marko Antila, "Virtuaaliympäristöt – kuvan sisälle vievät tekniikat", TEKES, Helsinki 1995.

[Scott 1996] Adrian Scott, "Getting Started in VRML", saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL: <http://www.vrmlsite.com/oct96/spotlight/qa/qa.html>>, 1996.

[Sherman 2003] William R. Sherman, Alan B. Craig, "Understanding Virtual Reality", Morgan Kaufmann Publishers, USA, 2003.

[Slator 1999] Brian M. Slator, Paul Juell, Philip E. McClean, Bernhardt Saini-Eidukat, Donald P. Schwert, Alan R. White, Curt Hill, *Virtual environments for education*, Journal of Network and Computer Applications , 22/1999, s.161-174..

[VTP 2006] "Virtual Terrain Project", saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL: <http://www.vterrain.org/>>, viitattu 20.9.2006.

[VTPdoc 2006] "VTP documentation", saatavilla HTML-muodossa osoitteessa <URL: <http://www.vterrain.org/Doc/index.html>>, viitattu 20.9.2006.

Liitteet

Liite 1: *Ihminen, aika, maisema* -projektin tutkimussuunnitelma

Tutkimussuunnitelma
Juhani Forsman, Tekotodellisuuslaboratorio
Jyväskylän yliopisto

Suomen Kulttuurirahastolle

Ihminen, aika, maisema: keinotodellisuusvisualisointi suomalaisen kylämaiseman muutoksista 1400–2000

Tavoitteet ja merkitys

Ihminen on aina pyrkinyt hallitsemaan luontoa muokkaamalla sitä omiin tarkoituksiinsa sopivaksi. Ihmisen jäljet näkyvät jokapäiväisessä ympäristössämme ja maisemassamme niin metsänhoidon, maanviljelyksen kuin rakentamisenkin kautta. Monitieteisen *Ihminen, aika, maisema* -projektin tavoitteena on kehittää automatisoituja menetelmiä ja ohjelmistoja sellaisten virtuaalimaailmojen rakentamiseen, jotka kertovat ihmisen ja luonnon suhteesta, tekevät näkyviksi muutoksia, joita ihminen on toimintansa kautta jättänyt maisemaan. Keinotodellisuusvisualisointi yhdistettynä historialliseen ja etnologiseen pitkän aikavälin tutkimukseen konkretisoi maisemamme kerroksellisuuden ja internetiin sijoitetun kylämaiseman mallinnuskokonaisuuden kautta tekee kulttuuriperintöämme näkyväksi mahdollisimman monille.

Kokonaisuudessaan *projektimme tuottaa kaksi erilaista tuotetta*: mallinamme hämäläisen Toivolan kylän maisemallisen menneisyyden 600 vuoden ajalta ja luomme mallintamista sekä virtuaaliteknologian hyödyntämistä helpottavia työvälineitä. Automatisoitujen menetelmien ja ohjelmistojen lisäksi luodaan pohja kansalliselle mallikirjastolle muiden tutkimus- ja opetushankkeiden hyödynnettäväksi.

Toivolan kylää koskeva virtuaalinen maailma tullaan jakamaan 600-vuotisen tutkimusjakson aikana kymmeneen eri ”maailmaan”, kukin vuosisata saa vähintään yhden mallinnuksen, mutta maiseman muutostahdin nopeutumisen myötä lähimenneisyys mallinetaan tiheämmin – esimerkiksi jo 1700-luvun maisemanmuutokset vaativat vähintään kaksi virtuaalimaailmaa. Mallinnettava maailma rakennetaan sekä ”lintuperspektiivistä” hahmoteltavaksi *havaintomaailmaksi* että ”sammakkoperspektiivistä” tarkasteltavaksi *kokemusmaailmaksi*. Havaintomaailman avulla katsoja saa laajan yleiskuvan maisemasta, sen erilaisista rajoista sekä peltoista ja metsistä, niiden laajuudesta ja käytöstä. Kokemusmaailma perehdyttää katsoijan lähemmin kylän elämässä tapahtuviin muutoksiin.

Suomen Kulttuurirahastosta hakemamme taloudellinen tuki mahdollistaa maisemamallinnuksen prototyypin rakentamisen ja luo siten perustan kokonaiselle mallinnusten sarjalle, joka kuvaa suomalaisen kylämaiseman muutoksia 600 vuoden aikana.

Historia- ja etnologiatieteiden tuottamaa laadullista materiaalia ei ole aikaisemmin juurikaan hyödynnetty mallinnuksessa ja keinotodellisuusvisualisoinnissa¹, joten sen vuoksi joudumme luomaan uusia digitaalisia työkaluja integroinnin perustaksi. Tavoitteenamme onkin tehdä mahdollisimman monikäyttöistä ja edullista teknologiaa humanististen tieteiden tuottaman sisällön visualisointiin ja uudenlaiseen tiedon jäsentämiseen sekä tuottamiseen. Konkreettisena tuloksena luomme esimerkkikohteemme - hämäläisen Toivolan kylän - pitkän aikavälin tarkasteluun perustuvan maisemamallinnusten sarjan. Näin voimme testata ja varmistaa mallinnuksen toimivuuden juuri laadullisen tutkimuksen tuottamien sisältöainesten kanssa.

Projekti perustuu tieteellisesti tutkittuun tietoon, jota esitellään digitaalisen teknologian avulla. Laadullisen tutkimuksen tuottama tieto ja tulkinnat esitetään kolmiulotteisena maailmana immersiiivisessä virtuaaliympäristössä. Näemme sen innovatiivisena teknologiana, joka saavuttaa uusia kohderyhmiä. Kolmiulotteisuus tarjoaa mahdollisuuden muuntaa tieteellinen tieto kokemuksellisemmaksi, jopa elämykselliseksi tapahtumaksi. Tällä ”tieteen dramatisointiin” pyrkivällä esitysmuodolla tulee olemaan monipuolisia käyttömahdollisuuksia niin opetuksessa kuin tieteellisessä toiminnassakin. Virtuaalimallinnus voidaan tuoda laajemmankin yleisön ulottuville esimerkiksi museoiden kautta.

Tutkimuksen toteutus

Jyväskylän yliopiston tekotodellisuuslaboratorio kehittää tutkimuksen toteuttamisessa tarvittavat visualisointi- ja mallinnusohjelmistot sekä tuottaa virtuaalimaailman maisemat ja objektit yhdessä historian ja etnologian asiantuntijoiden kanssa. Historian ja etnologian laitoksen tutkijat tuottavat projektin laadulliseen tutkimukseen perustuvan sisällön. Toteutamme projektin vaiheittain siten, että sisällöntuotanto ja tekninen toteutus ovat jatkuvassa keskusteluyhteydessä. Käsikirjoitus ja mallinnus etenevät lomittain toisiaan tukien.

Hankeemme kokonaistoteutuksesta ja teknisestä toteutuksesta sekä siihen liittyvistä kysymyksistä vastaa Jyväskylän yliopiston tekotodellisuuslaboratorio johtajanaan laboratoriopäällikkö Juhani Forsman. Hanke tarjoaa mahdollisuuden tietotekniikan jatko-opintoihin ja siihen tullaan rekrytoimaan tietotekniikan jatko-opiskelijoita. Sisällöntuotannosta vastaa Jyväskylän yliopiston historian ja etnologian laitos, tutkijoina FM Minna Mäkinen ja FM Merja Uotila. Muita projektiimme osallistuvia tutkijoita, lähinnä konsultointiasiantuntijoina ja resurssihenkilöinä, ovat historialliseen kartografiaan erikoistunut FT, dosentti Heikki Rantatupa ja historiallista kartallistamista toteuttavaa työryhmää johtava FT, dosentti Marko Lamberg.

Tutkimuksen tekninen toteutus

Keinotodellisuusvisualisointi immersiiivisessä virtuaaliympäristössä on nuori teknologia, jota on toistaiseksi hyödynnetty lähinnä teollisuudessa ja luonnontieteellisillä aloilla. Keinotodellisuusvisualisoinnin avulla teollisten tuotteiden tuotekehitystä voidaan tehdä virtuaalisten prototyyppien avulla, joita hyödyntämällä on saavutettu huomattavia kustannussäästöjä tuotekehitysprosessin nopeutumisen myötä. Virtuaalimallien lisäksi keinotodellisuusvisualisointi antaa mahdollisuuden yhdistellä erilaisia moniulotteisia aineistoja helposti ymmärrettävään muotoon. Virtuaalitekologian hyödyntäminen teknistieteellisten ja luonnontieteellisten alojen ulkopuolella on kuitenkin jäänyt vähäiseksi kolmiulotteisten virtuaalimaailmojen mallintamisen kalleuden takia. Mallintaminen joudutaan tekemään käsityönä, joka on kallista ja hidasta, koska laajojen virtuaalimaailmojen mallintamiseen ei ole olemassa mitään automatisoitua ja helppokäyttöistä teknologiaa. Juuri mallintamisen kalleuden takia useiden kymmenien neliökilometrien suuruisia alueita - kuten hankkeessa mallinnettava alue, Toivolan kylä, on mallinnettu ainoastaan sotilaskäyttöön tarkoitetuissa simulaattoreissa.

¹ Arkeologiassa on käytetty vasta vähän kolmiulotteista mallintamista ja multimediaa tutkimustulosten esittelemiseen (esimerkiksi Keskiajan saaristomeri – projekti ja sen kotisivut <http://saaristomeri.natureit.net/>, sekä <http://www.muuritutkimus.com/3d/index.html>), ei niinkään etnologiassa eikä historiassa.

Esitetyn tutkimushankkeen tietoteknisessä osuudessa tullaan kehittämään automatisoituja menetelmiä ja ohjelmistoja virtuaalimaailmojen rakentamiseen. Keinotodellisuusvisualisoinnin laajempi hyödyntäminen opetustoiminnassa ja humanistisissa tieteissä edellyttää, että virtuaalitodellisuussisältöjä pystytään tuottamaan edullisesti ja nopeasti. Toteutettavien virtuaalimaailmojen tulee olla myös helposti muokattavissa ja päivitettävissä. Hankkeessa kehitetään lisäksi edullisia PC-pohjaisia virtuaalitodellisuusjärjestelmiä opetuskäyttöön. Hankkeessa tuotetuista kolmiulotteisista malleista pyritään luomaan myös kansallinen mallikirjasto, jota voidaan hyödyntää muissa tutkimus- ja opetushankkeissa.

Jyväskylän yliopiston tekotodellisuuslaboratorio kehittää kaikki hankkeessa tarvittavat ohjelmistot maastojen ja objektien mallinnukseen ja muokkaamiseen sekä interaktiivisen virtuaalimaailman käyttöliittymän toteutuksen. Ohjelmistoon kehitetään myös animaatioelokuviin tuottamiseen vaadittavat toiminnot. Hanke on vaativa sekä laajuudeltaan että teknis-tieteellisten haasteidensa puolesta. Tekotodellisuuslaboratorio on aiemmissa projekteissaan kehittänyt automatisoituja menetelmiä ajoneuvosimulaattoreiden tietietokantojen luomiseksi, joiden avulla simulaattoreiden sisältämien tiestöjen mallintamista on voitu nopeuttaa huomattavasti.

Tutkimuksen sisällöntuotanto

Esimerkitapaukseksi sisällöntuotannossa olemme valinneet Toivolan kylän Länsi-Hollolassa. Kylä edustaa perinteistä hämäläistä ryhmäkylää. Erityiseksi kylän tekee siitä säilynyt asiakirja-aineisto: kylästä ja sitä ympäröivästä maisemasta on kirjallisuutta ja kirjallisia lähteitä jo keskiajalta, yksityiskohtaista karttamateriaalia on 1700-luvun alkupuolelta alkaen. Lisäksi maisema tutkimusalueella on edelleen maanviljelyksen värityttämää ja siten säilyttänyt perinteisen muotonsa.

Tutkimuksen aikarajaus tulee olemaan aina keskiajalta tähän päivään saakka, noin 1400–2000. Tarkoituksenamme on osoittaa miten Toivolan kylä ympäristöineen on muuttunut 600 vuoden aikajaksolla, miten ihmisen on muokannut maisemaa eri tavoin vuosien kuluessa ja miten kehitys erilaisine innovaatioineen näkyy kylän maisemassa. Tarkastelemme millaisten kerrosten ja millaisten vaiheiden kautta nykyinen toivolalainen maisema on rakentunut. Esimerkiksi erilaiset maanviljelyksen muutokset, siirtyminen kaskiviljelystä pysyvämpään peltoviljelyyn ja tässä tapahtuneet muutokset, ovat muokanneet kylän maisemaa merkittävästi.

Käytämme tutkimuksemme lähteinä monipuolista asiakirjamateriaaleja sekä karttoja, valokuvia ja muistitietoa, jotka yhdessä valottavat kylän elämää ja erityisesti muutoksia maisemassa 600 vuoden ajalta. Etsimme muutospiintoja aikakausittain, aina keskiaikaisesta kaskimaanviljelyksestä sarkajakoihin ja moderniin koneelliseen maanviljelykseen saakka. Tavoitteenamme on luoda monipuolinen kuva hämäläisestä kyläelämästä, sen kehityksestä ja muutoksista, ja tarkastella miten nämä muutokset näkyvät ihmisen ympäristössä ja millä tavalla ne muokkaavat maisemaa. Alkuperäisaineistoon perustuvan tutkimuksen tulokset kirjataan sellaiseksi käsikirjoitukseksi, joka on mahdollista muuntaa digitaalisen tekniikan avulla kolmiulotteiseksi virtuaaliseksi maailmaksi.

Sisällöllisessä työssä yhteistyökumppanimme on paikallinen Länsi-Hollolan kyläyhdistys, jonka kautta ja avustuksella saamme käyttöömmme haastatteluja ja valokuvia. Näin myös yhteydenpito paikallisiin asukkaisiin ja kirjallista lähdeaineistoa täydentävän suullisen muistitiedon keruu helpottuu aktiivisen kyläyhdistyksen kautta.

Hankkeen aikataulu

Hankkeen ensimmäisessä vaiheessa suoritetaan kohteen visuaalisten lähdemateriaalien keräys, joka sisältää myös mallinnettavan maaston yleispiirteiden ja siihen kuuluvien objektien valokuvaamisen. Samaan aikaan kerätään ja analysoidaan historiallista ja etnologista tutkimusaineistoa sekä kirjoitetaan Toivolan alueen keinotodellisuusvisualisoinnin sisällöllistä käsikirjoitusta. Kerätyn digitaalisen aineiston pohjalta toteutetaan ensimmäiseksi kolmiulotteisen maaston automatisoituun tuottamiseen ja editointiin tarvittavat ohjelmistot. Ohjelmiston kehittämisen rinnalla mallinnetaan prototyyppiobjektit maaston sisältämistä objekteista, joiden avulla tuotetaan ensimmäinen prototyyppiversio mallinnettavasta virtuaalimaailmasta.

Hankkeen toisessa vaiheessa kehitetään konenäköalgoritmeja ja automatisoitavissa olevia mallinnusmenetelmiä, joiden avulla virtuaalimaailman objekteja voidaan tuottaa suoraan valokuvien pohjalta. Luonnon monimuotoisuuden takia mallinnusmenetelmien kehittämisen yhteydessä on myös kehitettävä menetelmiä, joilla voidaan tuottaa automaattisesti realistisilta vaikuttavia variaatioita virtuaalimaailman objekteista. Mallinnusmenetelmien kehittämisen yhteydessä maastosta tuotetaan virtuaalimaailman prototyyppejä, joita evaluoidaan yhdessä historian ja etnologian asiantuntijoiden kanssa. Prototyypiversio ei vielä sisällä kaikkia maailmoja ja ulottuvuuksia, joiden on tarkoitus olla valmiissa, toisen vaiheen aikana rakennettavassa mallissa. Prototyypiversiota ja hanketta on tarkoitus esitellä kansainväliselle tutkijayleisölle Jyväskylässä marraskuussa 2007 järjestettävässä historialliseen kartallistamiseen perehtyvässä tutkijatapaamisessa.

Hankkeen ensimmäinen vaihe on tarkoitus toteuttaa vuonna 2007. Toinen vaihe voidaan aloittaa vuoden 2008 alkupuolella ja sen tavoiteaikataulu riittävän rahoituksen järjestyessä on vuosi 2009.

Liite 2: Toivola – kylätietoa

Luonnos

Kirjoittanut Merja Uotila

Toivola 600-v

- **1400-luku (1 kartta)**

- kylän asutus jo todennäköisesti vakiintunutta, nimi mainitaan ensi kerran 1432
- muutama talo (arvioitavissa koukkuluvusta?)
- viljely kaskiviljelyä, muutama pelto ehkä aivan kylän talojen vieressä (yksittäisten talojen omia peltotilkkuja), ympärillä metsää, joitakin niittyjä joen/ojan varrella
- Ylinen Viipurintie kulkee kylän rajalla, muut reitit polkuja
- rajariita Sairakkalan kanssa, paikannimiä ja edelleen voimassa oleva raja vuodelta 1482

- **1500-luku (1 kartta)**

- ensimmäinen maakirja (9 taloa vuosisadan alussa, lopussa vähemmän), taloluku on todennäköisesti jonkin verran lisääntynyt edellisestä vuosisadasta
- pellot edelleen kyläkeskittymän lähellä, sarkajako tullut tai tulossa, kaskiviljelyä edelleen, niityt alavilla mailla joen ja ojan varrella, metsien ympäröimänä
- Ylinen Viipurintie, (katsottava Teitiltä millaisessa kunnossa oli?)
- kukoistusta ennen vuosisadan lopun sotia

- **1600-luku (1 kartta)**

- taloluku maakirjasta, on paljonkin autoitumista (vain yksi veroa maksava talo 1600-luvun alussa) ja taloluvun pienemistä
- pellot kyläkeskittymän lähellä sarkajaossa, niityt alavilla mailla joen ja ojan varrella, metsien ympäröimä, kaksivuoroviljely, edelleen kaskeamista, pellot aidattu, ojitusta vähän
- maanviljelystietoja ja rajatietoja tulee tuomiokirjoista
- vaikeita aikoja, verotuksen kiristyminen, sota- ja katoaikoja, 1600-luvun lopun suuret kuolovuodet

- **1700-luku (2 karttaa)**

- ensimmäinen yksityiskohtainen kartta 1705 ja toinen 1723, lisäksi kartta rajariidasta Voistion kylän kanssa 1757
- isojakokartat 1787/1789, Hollolan pitäjän kartta 1749 sekä kuninkaankartaston tiedot ja asiakirjat
- pellot edelleen kyläkeskittymän lähellä, niityt alavilla mailla joen ja ojan varrella, metsien ympäröimä, kartoista näkee mm. metsien luonteen, kaksivuoroviljelyä, peruna uutuutena, pellot aidattu, ojitusta vähän?
- pellot laajentuneet 1700-luvun alusta, taloluku kasvanut, mutta ilman torppariutta
- isoviha ja pikkuviha vaikuttavat alueen elämään, mutta vuosisadan loppupuolella taloudellista kasvua

- **1800-luku (2 karttaa)**

- venäläiset topografikartat ja painettu kartta tietolähteenä

- isojaon vaikutus alueeseen, kyläyhteisön hajoaminen, vaikka 1802 vain kaksi taloa siirretään pois kyläkeskustasta
- peltoalueen laajeneminen, niittyjen muokkaus ja ottaminen pelloksi, ojituksen lisääntyminen, pellot edelleen aidattuna
- kylä palaa vuonna 1855, aiheuttaa tiiviin keskuskylän hajoamista, myös torppien syntyä
- Viipurintien kehitys, liikenteen lisääntymistä?
- 1809 sotatoimet seudulla
- todennäköisesti iso ero 1800-luvun alun ja lopun välillä, jonkinlaista modernisointia

- **1900-luku (2-3 karttaa)**

- pitäjänkartta 1910-luvulla, painetut kartat ensimmäinen 1930-luvun lopulta, 1960-luku, 1980-luku ja 1990-luku lähteenä
- aika ennen toista maailmansotaa maanviljelyksen laajentuminen paikallisin voimin
- muutama iso kartanomainen talo 1900-luvun alusta
- uusjako vuosisadan alussa vie suurimman osan taloista kyläkeskuksesta muualle, syntyy mäkitupa-asutusta
- aika ennen maaltapakoa toisen maailmansodan jälkeen ja maisema maaltapaon jälkeen?
- siirtokarjalaisten tulo uutena asutuksena II MS jälkeen
- Viipurintien kehitys ja uuden tielinjauksen tuleminen
- eläimet häviävät kuvasta 1900-luvun loppupuolella, ei enää karjataloutta!
- laaja peltomaisema, mutta jäljellä on kuitenkin peltosaarekkeita, salaojitus kuitenkin vähentää ojien määrää
- maanviljelyksen kehitys näkyy voimakkaasti tänä aikana

- **2000**

- tarviiko enää mitään erillistä karttaa, vai oma EU-kartta?

Huomioitavia kysymyksiä: kylän ensimmäinen asuttaminen ja raivaaminen, (millainen maaperä, missä olisi voinut alkeellisella auralla tehdä jotain, missä olisi hyvää kaskimaastoa), alueen maastomuodot, ilmastonmuutokset, minkälaista autioitumista sotien yhteydessä, missä on torppia, paljonko niitä on? ruotusotilaat, heidän tilansa kautta aikojen, käsityöläisten torpat, viljelykasvit kautta aikojen, missä ja minkälainen talvitie kulkee alueen läpi, asutusmuodot (savupirtistä valkeaan tupaan) kato- ja kuolonvuosien vaikutus, erityisiä tapahtumia tai riitoja, jotka vaikuttavat kylän elämään (kylä palaa, karja karkaa jonkun toisen pellolle) metsästyksen merkitys, 1900-luvulla täällä toimi saha

lähteitä: erilaisia verokertomuksia, mm. hopeaveroluettelo, maakirjat ja henkikirjat, voudintilit, tuomiokirjat, kirkonkirjat, Teitin tieluettelo, 1741 Ulrik Rudenschöldin kertomus ajan oloista, Boucht kertomus Hollolan pitäjästä, Kuninkaankartanon kertomus ajan oloista, valokuvat, piirustuksia ei taida olla? haastattelut, kyselyt, (onko tehty aikaisemmin kansatieteellistä keruuta tältä alueelta?) kartat ovat edellä mainittu

Edellä mainittuja tietoja on koottu kartoista, Sakari Kuusen Hollolan historiasta ja omasta päästä!