

Teo Tornberg

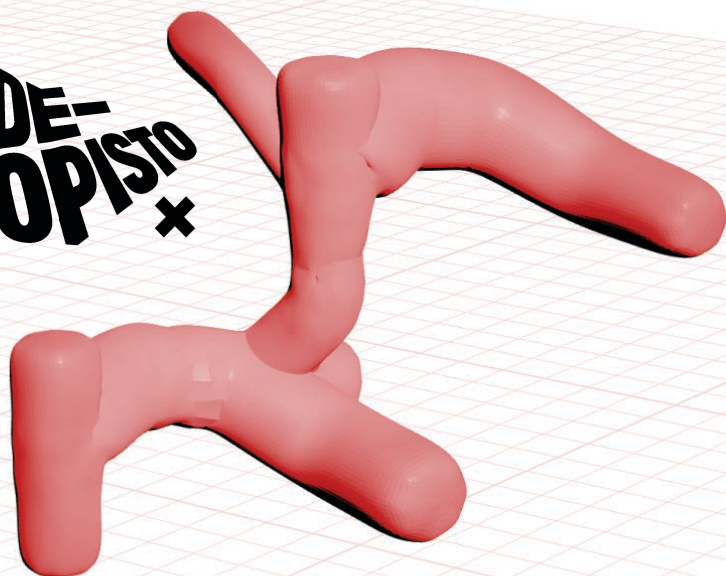
Taideyliopiston Kuvataideakatemia

Tila-aikataiteen osasto

Kuvataiteen maisterin opinnäyte

Palautuspäivämäärä 22.9.2025

**TAIDE-
YLIOPISTO** x



Tiivistelmä

Genetic variations on video-installaatio, jossa simuloitu itseohjautuva evoluutioprosessi jalostaa liikkuvia kolmiulotteisia olioita. Teoksessa geneettinen algoritmi arvioi yksilöitä sen mukaan, kuinka kauas ne etenevät fysiikkasimulaatiossa. Muodon genotyyppi kuvataan L-systeemin merkkijonoilla ja liike syntyy nivelten parametrien ohjaamana. Teoksen tekninen osuus on toteutettu SideFX Houdinissa hyödyntäen prosessiverkkoja, rigausta, animointia, fysiikkasimulointia ja PDG-arkkitehtuuria, joka automatisoi uusien sukupolvien generoinnin, renderöinnin ja videoiden kokoamisen. Populaation monimuotoisuutta kontrolloidaan risteytyksen ja mutaation avulla, jolloin muodot ja liikkeet varioituvat sukupolvesta toiseen.

Kirjallinen osuus taustoittaa teosta käsitteellisesti ja teknisesti. Käsittelen morfogeneesiä, geneettisiä algoritmeja ja L-systeemejä sekä Manuel DeLandan ajattelua, jossa geneettiset prosessit ymmärretään virtuaalisten potentiaalien aktualisaationa. Teen vertailua teoksen suhteesta evoluutiotaitteen historiaan, esimerkkeinä Karl Simsin ja William Lathamien teokset ja tarkastelen evoluutiotaitteen herättämiä kysymyksiä. Tekninen kuvaus esittelee geneettisten ominaisuuksien muodostuksen, otusten luurangon ja rungon rakentumisen, liikejärjestelmän, fysiikan, valinnan, risteytyksen, mutaation ja videon tuotannon.

Avaan myös valintoja, kuten biologisten käsitteiden metaforista käyttöä ja esittelen lyhyesti näyttelyarkkitehtuurin ratkaisut, joiden tehtävänä oli kehystää orgaanista muotoa sekä liikettä selkeään geometriseen ympäristöön.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä	2
Johdanto	4
1. Käsitteistöä	6
1.1 Morfogeneesi ja digitaalinen evoluutio	6
1.2 Geneettinen algoritmi	7
1.3 L-systeemi	9
2. Teoksen toteutus Houdini-ympäristössä	10
2.1 Vaiheittainen kuvaus teoksen teknisistä prosesseista	11
3. <i>Genetic variations</i> Kuvan Keväässä	15
3.1 Mitä opin ja miten teos asettuu evoluutiotaitteen kenttään?	17
3.2 Jatkoksi	19
4. Lopuksi	21
Lähteet	22

Teo Tornberg

Genetic Variations

Johdanto

Genetic variations videoteoksessani geneettisen algoritmin tehtävänä on evoluution avulla löytää nopeammin liikkuvia kolmiulotteisia olioita. Algoritmi optimoi olioiden kuljettua matkaa simuloitussa testissä. Mitä pidemmälle olio on kulloinkin aloituspaikaltaan liikkunut, sitä enemmän se kerää fitness-pisteitä.

Teos oli esillä Kuvan Keväässä 2025. Näyttelytilaan se rakentui neliömäisestä tietokonenäytöstä ja kahdesta minimalistisesta tuolista, joihin katsoja saattoi asettua seuraamaan simulaation etenemistä. (Kuva 1.) Näytöllä näkyi sukupolvesta toiseen muuttuva joukko virtuaalisia olioita, joiden kehot ja liikkeet olivat laskennallisen evoluutioprosessin tuotoksia. Katsoja pystyi seuraamaan, miten muodot muuttuivat, haarautuivat ja katosivat uusien generaatioiden muodostuessa.

Taiteellisena lähtökohtana oli kiinnostukseni muodon synnyn ja morfogeneesin kysymyksiin sekä siihen, millä tavoin digitaalinen prosessi voi ilmentää kehollisuutta ja elollisuuden illuusiota. Halusin tutkia, kuinka itseohjautuvassa prosessissa yksinkertaisista säännöistä ja määräyksistä voi syntyä monimuotoisia muotoja ja liiketapoja. Teos liittyy evoluutiotaitteen jatkumoon, mutta se asettuu nykyhetkeen, jossa algoritmiset järjestelmät ja tekoälyn kaltaiset teknologiat ovat enenevässä määrin osa arkista todellisuuttamme.

Työni teoreettinen tausta pohjautuu filosofi Manuel DeLandan ajatteluun geneettisistä algoritmeista ja niiden suhteesta suunnitteluun ja taiteeseen. DeLanda korostaa, että geneettiset algoritmit eivät korvaa suunnittelijaa, vaan siirtävät painopisteen yksittäisen muodon luomisesta algoritmisen *hakutilan* (engl. search space) määrittelyyn [1]. Suunnittelijan tehtävä on toimia arkkitehtina, joka luo säännöt ja parametrit, joiden puitteissa muoto voi toteutua. Tässä kontekstissa pohdin sitä, miten geneettisen algoritmin ja simuloidun liikkeen yhdistävä ohjelmistoprosessi luo muotoja sekä miten suunnittelijan rooli rakentuu, kun työn ydin on hakutilan kuratointi. Matematiikassa ja tietojenkäsittelytieteessä hakutila tarkoittaa mahdollisten ratkaisujen tai tulosten joukkoa.

Opinnäytetyöni on taiteellinen tutkimus. Kirjallisessa osuudessa käyn läpi käsitteistön ja työn kulun. Lopuksi kuvaan, miten esitin teokseni *Genetic variations* -installaation Kuvan Keväässä ja selvitän, miten teos sijoittuu evoluutiotaitteen kontekstiin sekä pohdin, mitä opin, mikä onnistui ja miten jatkaisin työtäni.



Kuva 1: Genetic variations installaatio rakentui fyysisesti kahdesta minimalistisesta tuolista ja liki neliönmuotoisesta näytöstä.

1. Käsitteistä

Esittelen ensin lyhyesti morfogeneesin ja digitaalisen evoluution käsitteet ja sitten geneettisten algoritmien ja L-systeemin periaatteet yleisellä tasolla, jotta teoksen toimintalogiikkaa on helpompi ymmärtää. Sen jälkeen käyn läpi teoksen teknisen toteutuksen vaihe vaiheelta: miten olennot dekodataan genomista, kuinka niiden kolmiulotteinen muoto ja liike syntyvät ja miten evoluutioprosessi on rakennettu Houdini-ohjelmistossa.

Terminologia lainaa biologiasta: puhumme “geeneistä”, “populaatioista”, “fitnessistä”, “genotyypistä”, “fenotyypistä” ja niin edelleen, mutta algoritmien kohdalla kyse on tietenkin metaforasta. Teokseni kontekstissa käytän myös termiä “olio”, jolla viitataan videoteoksen elottomiin “eliöihin”. Geneettisten algoritmien kontekstissa yksilöt eivät ole eläviä organismeja, mutta ne on mallinnettu käyttäytymään kuin organismit. Niillä on “geenit” ja ne kokevat virtuaalisen evoluution. Biologisesta evoluutiosta poiketen algoritmi toimii yksinkertaistetussa tilassa.

1.1 Morfogeneesi ja digitaalinen evoluutio

Biologian kontekstissa *morfogeneesi* tarkoittaa muodon kehittymistä. Miten esimerkiksi siemen kehittyä kasviksi tai miten ympäristössä monimutkaiset muodot syntyvät suhteellisen yksinkertaisista alkuasetelmista. Digitaalisessa morfogeneesissä muotojen luominen tehdään laskennallisesti.

Digitaalisen evoluution hyödyntäminen taiteessa ei ole uusi idea, vaan se kuuluu laajempaan *evoluutiotaiteen* (engl. evolutionary art) kenttään. Kuuluisa esimerkki on taiteilija ja tietojenkäsittelytieteilijä Karl Simsin projekti “Evolved Virtual Creatures” (1994). Siinä luotiin tietokoneella laatikkomaisista palikoista koostuvia olioita, jotka kilpailivat simuloidussa ympäristössä esimerkiksi uimisessa ja kävelyssä [2]. Ne yksilöt, jotka suoriutuivat parhaiten tehtävästään, esimerkiksi uivat nopeimmin, valittiin. Näiden geenit yhdistettiin ja niihin tehtiin satunnaisia mutaatioita, joista luotiin uuden sukupolven olentoja. Sukupolvien kuluessa ilmaantui erilaisia muotoja ja liikkumistapoja.

Jo 1980- ja 1990-luvuilla evoluutiotaitelijat, kuten William Latham, hyödynsivät geneettisiä algoritmeja visuaalisten muotojen “kasvattamiseen”. Latham kutsui itseään “puutarhuriksi”, joka valikoi ja karsii tietokoneen luomia muotoja, tavalla joka antoi digitaalisen evoluution tuottaa yllätyksellisiä lopputulemia [3].

DeLanda käsittelee evoluutiota populaatioajattelun kannalta. Hänen mukaansa “muodon tuotannon matriisi on populaatio eikä yksilö” (Oma käänös) [1] On luotava joukko yksilöitä rinnakkain, annettava mutaatioiden ja risteytymisten levitä *reproduktiivisessa yhteisössä* useiden sukupolvien ajan. Vasta sitten voi tarkastella, millaisia muotoja ja käyttäytymisiä alkaa nousta esiin. Suunnittelijan työn painopiste siirtyy kokoelman hakutilan ja soveltuvuus-kriteerien muotoiluun, populaatioon, jossa yllätykset ovat ylipäättään mahdollisia.

DeLandan ajattelussa evoluutio on populaatiodynamiikkaa. Uudet muodot ovat populaation tuloksia, eivät jonkin yksilön ennalta määrättyjä muodonmuutoksia. Tämä populaatioajattelu eroaa perinteisestä, yksinkertaistavasta evoluutiokuvasta, jossa korostetaan “survival of the fittest” iskulausetta ja kuvitellaan kehityksen etenevän teleologisesti kohti “korkeampia” tai “parempia” muotoja. Evoluutio ei etene, vaan se on pikemminkin haarautuva prosessi, jolla ei ole ennalta annettua päämäärää.

Evoluutiotäiteessä William Lathamın kehittämä *Mutator*-ohjelmisto konkretisoi, miten *soveltuvuus-kriteerit* voivat saada taiteessa hyvinkin erilaisia määritelmiä. Lathamın teoksessa tuotettiin kolmiulotteisia, *biomorfasia* muodostelmia, joista hän valitsi jatkoon ne yksilöt, jotka parhaiten vastasivat hänen esteettisiä mieltymyksiään. Esimerkiksi animaatioissa *Mutations* (1992) orgaaniset muodot kehittyvät sukupolvesta toiseen niin, että Latham itse toimi valintapainetta luovana ympäristönä. Ne muodot, jotka miellyttivät hänen taiteellista silmäänsä, saivat selviytyä ja yhdistyä toistensa kanssa tuottaen uusia variaatioita. Tässä yhteydessä *fitness* tarkoittaa käytännössä muodon esteettistä arvoa valitsijan silmässä.

1.2 Geneettinen algoritmi

Manuel DeLanda on kirjoittanut *geneettisten algoritmien* käytöstä suunnittelun apuna, erityisesti arkkitehtuurissa, mutta ajatukset pätevät myös laajemmin muotoiluun ja taiteeseen. DeLandan mukaan evoluutiosimulaatiot voivat korvata perinteisen suunnittelun, koska niiden

avulla voidaan jalostaa uusia muotoja, sen sijaan että suunnittelija itse määrittäisi kaiken yksityiskohtaisesti. Samalla hän kuitenkin painottaa, että suunnittelijan rooli on ratkaisevan tärkeä siinä, miten evoluution mahdollisuudet rakennetaan.

Avain on riittävän rikkaan muodon hakutilan suunnittelussa, jotta evoluution tuottamat muodot voivat yllättää. Jos geneettisessä algoritmossa "geenit" ja niiden tuottamat ratkaisut ovat liian suppeassa mahdollisuuksien tilassa, algoritmi ei ole hyödyllinen. Kun mahdollisten muotojen avaruus on tarpeeksi monimuotoinen ja kompleksinen, voi evoluution lopputulos olla yllättävä.

Geneettinen algoritmi on laskennallinen menetelmä, joka jäljittelee evoluutioteorian periaatteita etsiessään ratkaisuja ongelmiin. Aluksi luodaan joukko yksilöitä. Nämä yksilöt koodataan esim. merkkisarjana tai muunlaisena tietorakenteena, joka muodostaa kromosomin/genotyypin. Jokaiselle yksilölle määritellään niin sanottu soveltuvuusarvo (engl. *fitness*) sen mukaan, kuinka hyvin se suoriutuu annetusta tehtävästä. Luonnonvalintaa mukailien algoritmi sitten *valitsee parhaat yksilöt* lisääntymään. Näiden vanhempien geneejä sekoitetaan (engl. *crossover*) ja lisäksi tehdään satunnaisia geenimutaatioita, minkä jälkeen syntyy uusi sukupolvi yksilöitä. Huonoiten soveltuvat yksilöt karsiutuvat ajan myötä pois. Sama prosessi, eli *valinta, risteytys ja mutaatio*, toistetaan sukupolvesta toiseen. Sukupolvien myötä yksilöiden on tarkoitus kehittyä yhä paremmiksi annetun tavoitteen suhteen, kuten biologisessa evoluutiossa, jossa laji sopeutuu ympäristöönsä. Geneettinen algoritmi on siis hakualgoritmi, joka käyttää luonnonvalinnan logiikkaa löytääkseen optimaalisia tai tyydyttäviä ratkaisuja erilaisiin ongelmiin. Tätä menetelmää on käytetty optimoinnissa ja koneoppimisessa sekä myös esimerkiksi arkkitehtuurin kontekstissa ja erilaisissa laskennallisissa ongelmissa.

Geneettisen algoritmin hakutila voidaan nähdä *virtuaalisena moninaisuutena*, josta konkreettiset muodot yksilöityvät sukupolvien aikana. Useita *potentiaalisia* muotoja pysyy elossa ja *aktualisoituvat* muodot eivät konvergoitu yhdentyypiseksi. Filosofin Gilles Deleuzen ajattelun mukaan *virtuaalinen* on todellinen ei-aktualisoitunut ulottuvuus, joka aktualisoituu yksilöitymisprosessissa. Deleuzen virtuaalisen käsite nimeää sen, mitä geneettisessä algoritmossa ei nähdä suoraan, mutta mikä ohjaa muodon kehkeytymistä. Virtuaalinen vastaa mahdollisuuksien avaruutta, jossa singulariteetit, rajoitteet ja kynnyksarvot

jäsentävät yksilöitymisen kulkuja. Kun säädän geneettisen järjestelmän sääntöjä ja parametreja, muokkaan tämän mahdollisten ratkaisujen tilan topologiaa enkä yksittäistä muotoa. Yksilöityminen tarkoittaa, että tietyt geneettiset kombinaatiot ja ympäristön määräämät ehdot tekevät virtuaalisen tietyssä hetkessä aktuaaliseksi. Siksi populaatio ei välttämättä konvergoi yhteen tyyppiin, vaan eri haarat voivat aktualisoitua eri singulariteettien ympärillä. Fitness-maisemassa huiput ovat paikallisia stabiliteetteja, joihin populaatio asettuu, kun taas mutaatiot siirtävät sitä toisiin potentiaaleihin.

Geneettisillä algoritmeilla on taipumus jäädä jumiin paikallisiin *optimeihin* eli sellaisiin ratkaisuihin, jotka ovat naapurustossaan parhaita, mutta jotka eivät ole välttämättä globaalisti ongelman paras mahdollinen ratkaisu. Populaatio kiipeää lähimmälle huipulle fitness-maisemassa eikä pääse laakson yli korkeammalle huipulle. Tällöin populaation monimuotoisuus voi huveta liian nopeasti. Tätä riskiä voidaan lieventää lisäämällä mutaatioiden määrää tai vaikuttamalla valintaa ohjaaviin tekijöihin, jotka ylläpitävät monimuotoisuutta.

Fitness-maisemassa jokainen mahdollinen genotyyppi on piste moniulotteisessa avaruudessa ja kunkin pisteen korkeus kuvaa soveltuvuutta. Huiput vastaavat hyviä ratkaisuja ja laaksot huonoja. Maisema-analogia auttaa hahmottamaan, miksi evoluutio voi juuttua paikallisille huipuille ja miksi mutaatiot tai monimuotoisuutta ylläpitävät valinnat voivat auttaa löytämään korkeampia huippuja. Fitness-maiseman topologinen avaruus on moniulotteinen eikä siten piirrettävissä.

1.3 L-systeemi

L-systeemi eli Lindenmayer-systeemi on keskeinen menetelmä teokseni *morfogeneesin* eli muodon ja rakenteen kehittämisessä. L-systeemi on biologi Aristid Lindenmayerin vuonna 1968 kehittämä matemaattinen kieli, jolla mallinnetaan organismien muotoja ja kehitystä. Tätä menetelmää on käytetty esimerkiksi kuvaamaan puita, oksia, lehtiä ja kasveja [4]. Teoksessani L-systeemi tarkoittaa sitä, että olion muoto koostuu erityisistä symbolimerkkijonoista, joissa merkkejä tulkitaan piirto-ohjeiksi. Muunsin L-systeemin merkkijonon luurangoksi ja rungoksi. Liikeparametrit ohjaavat nivelten toimintaa ja simulaatio ratkaisee, miten käyttäytyminen aktualisoituu.

Valitsin L-systeemin edustamaan olioiden muodon *genotyyppejä* siksi, että se pystyy kuvaamaan valtavan joukon haarautuvia muotoja. Siten sain määriteltyä *muodon hakutilan*. Samalla liikkeen *geneettiset parametrit* mahdollistivat erilaisten liikkumistapojen syntymisen.

Biologiassa *genotyyppi* tarkoittaa perimää eli geenejä, kun taas *fenotyyppi* on sen havaittavissa oleva ilmentymä eli piirteet ja käyttäytyminen, jota myös ympäristö voi muokata. Teokseni kontekstissa *genotyyppi* on muodon määrittävä merkkijono sekä liikeparametrit, ja *fenotyyppi* on sen kolmiulotteinen muoto sekä liike simuloitussa ympäristössä.

2. Teoksen toteutus Houdini-ympäristössä

Teos on toteutettu SideFX Houdini-ohjelmistossa. Houdini on 3D-mallinnusohjelmisto, jossa perusajatus on luoda prosessien verkosto. Jokainen kytketty operaattori muodostaa verkon, niin että aina edeltävän prosessin tulos siirtyy seuraavan syötteeksi. Modulaarinen lähestymistapa sopii erinomaisesti monivaiheisen prosessin rakentamiseen, jossa jokaista vaihetta, kuten geometrian luontia, rigausta, animointia ja simulointia, voi työstiä erillisinä kokonaisuuksina ja integroida ne sitten osaksi laajempaa verkostoa. Houdini tarjoaa fysiikkaratkojia, 3D-hahmojen rigaus- ja animointijärjestelmän sekä mahdollisuuden luoda omia menetelmiä ja ratkaisuja ongelmiin ohjelmoimalla.

PDG eli Procedural Dependency Graph on tapa määritellä, mitä työtä pitää tehdä ja missä järjestyksessä se etenee. PDG-verkostossa jokainen solmu tuottaa työtehtäväpaketteja ja liittää niihin attribuutteja, jotka kantavat dataa prosessien läpi. Osa solmuista luo uutta työtä, osa kokoaa useita paketteja yhteen ja määrittää, että ne valmistuvat ennen seuraavan prosessin alkua. Näin muodostuu resepti siitä, mitä tehdään milloinkin, millä syötteillä ja mihin tulokset tallennetaan.

PDG on suunniteltu monivaiheisten tehtäväkokonaisuuksien automatisointiin ja rinnakkaistamiseen [5]. Siinä määritellään solmuverkkoja, jotka generoivat valikoituja

prosesseja. Eri työvaiheita, kuten geometrian luonti, simulointi ja videon muodostus, voidaan automatisoida ja ajaa rinnakkain. Käytännössä siinä luodaan prosessikaavio, jonka avulla ohjataan työvaiheiden ajamista.

Yksilön geenit tallennetaan Houdinin attribuutteina. Houdinissa attribuutit ovat muuttujia, joita voidaan yhdistää osaksi geometriaa. Tässä tapauksessa geenit ovat muuttujia, joita eri prosessit käyttävät syötteinään.

2.1 Vaiheittainen kuvaus teoksen teknisistä prosesseista

Geneettisten attribuuttien generointi

Aluksi luodaan alkupopulaatio, jonka jokaiselle yksilölle arvotaan sen omat yksilölliset geenit. Olioiden muodon määrää symboleista koostuvat *premissi* sekä *säännöt A ja B*. Premissinä toimii muutaman kirjaimen pituinen A- ja B-kirjaimista koostuva merkkijono, esimerkiksi “ABA”. A ja B säännöt puolestaan koostuvat “F”, “+”, “-”, “/”, “\” sekä “[]” symboleista. Jokaista F-kirjainta kohden lisätään sen kirjaimen perään myös kaarisulkeissa oleva desimaaliarvo, joka määrää raajan pituuden. Näillä merkkijanoilla määritetään L-systeemin generoima kolmiulotteinen muoto. Yksilölle myös annetaan jokaista niveltä kohti numeroarvoja, jotka ohjaavat paikallisesti nivelten liikettä. Liikearvot määrittävät liikkeen kulman, kierteen, vaiheen sekä nopeuden. Geenit tallennetaan *geometria-attribuutteina*, mikä Houdini-kontekstissa tarkoittaa nimettyjä arvoja, jotka on tallennettu geometrisiin objekteihin tai niiden osiin, kuten pisteisiin, vertekseihin tai polygoneihin. Verteksi tarkoittaa pinnan kärkipistettä, joka liittyy pisteen osaksi tiettyä pintaa, ja polygoni on puolestaan näistä vertekseistä koostuva monikulmio.

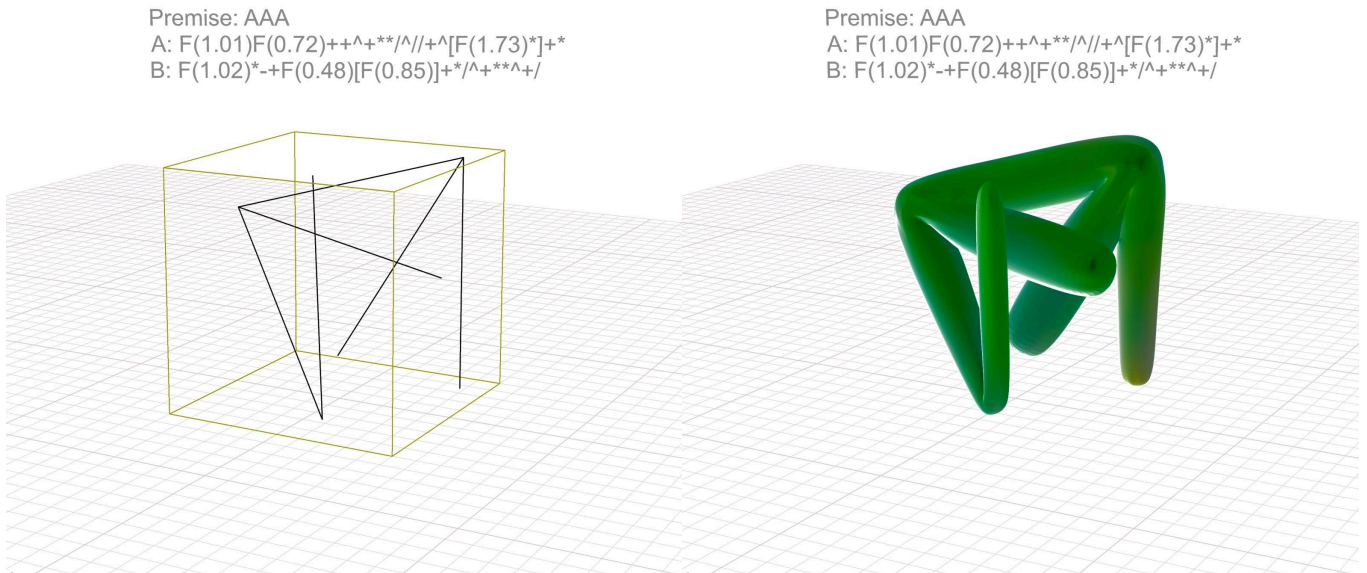
Luuranko L-systeemillä

L-systeemi muuntaa genomin merkkijonot viivoiksi. Tuloksena on viivamainen tikku-ukkomainen luuranko ilman massaa. (Kuva 2.)

Runko PolyWire-algoritmilla

Viivasto paksunnetaan PolyWire-algoritmilla putkimaiseksi rungoksi. Pistekohtainen paksuus voi vaihdella genomin sisältämien pisteskaala-arvojen mukaan, jolloin rungon muodosta tulee

monipuolisempi. Tässä vaiheessa olion on edelleen staattinen, mutta sillä on jo tilallinen “ruumis”. (Kuva 2.)



Kuva 2: Esimerkki satunnaistetun olion muodon geneettisestä määritelmästä ja luurangosta ennen rungon muodostusta ja sen jälkeen.

Rigaus

Viivasegmenteistä muodostetaan olion luut ja nivelet. Rungon pinta sidotaan luurankoon automaattisesti tuotetuilla painokertoimilla, jolloin luiden kierto ja taivutus deformaivat pintaa luonnollisesti.

Animointi

Herätän olion eloon antamalla jokaiselle nivelelle pienen moottorin. Rigiä ohjaava koodi päivittää jokaisella ruudulla nivelten kulmia ajan edetessä. Liike lasketaan siniaalloilla, joita ohjaavat geneissä määrittävät taajuudet, kulmat ja vaiheet. Lyhyiden luiden amplitudia vaimennetaan, jotta liike pysyy rauhallisempana.

Fysiikkasimulaatio

Olio siirtyy RBD-simulaatioon, jossa painovoima, kitka ja törmäykset yhdessä nivelten

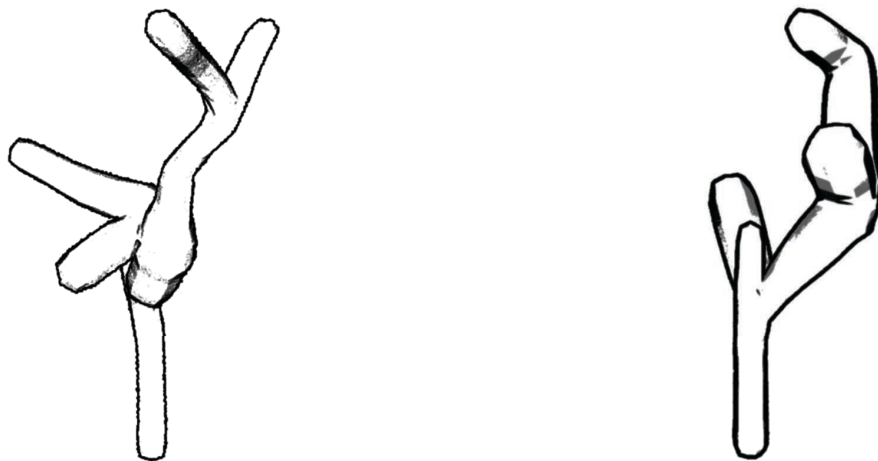
liikkeen kanssa liikuttavat oliota. Olio pudotetaan lattialle ja sen annetaan edetä hetken ajan. Toiset saattavat jäädä jumiin paikalleen, kun toiset taas voivat raahata itseään eteenpäin kitkan voimalla.

Fitness eli soveltuvuuden arviointi

Tehtävä on liikkua mahdollisimman kauas lähtöpisteestä. Mittaan matkan kertymistä ajassa ja arvo tallennetaan.

Valinta ja crossover

Kun koko populaatio on valmis, valitsen parhaat jatkokoon. Crossover on vanhempien perimän sekoittamista. Merkkijonoja viipaloidaan ja yhdistellään satunnaisesti. Liikeparametrit periytyvät nivelkohtaisesti, osalle nivelistä valitaan arvot toiselta vanhemmalta ja osalle toiselta.



Kuva 3: Esimerkki mutaation vaikutuksesta olion rakenteeseen. Vasemmalla on piirros yksilöstä ennen mutaatiota ja oikealla sen jälkeläinen, kun osaan muodon määrittäviin geeneihin on tehty mutaatioita

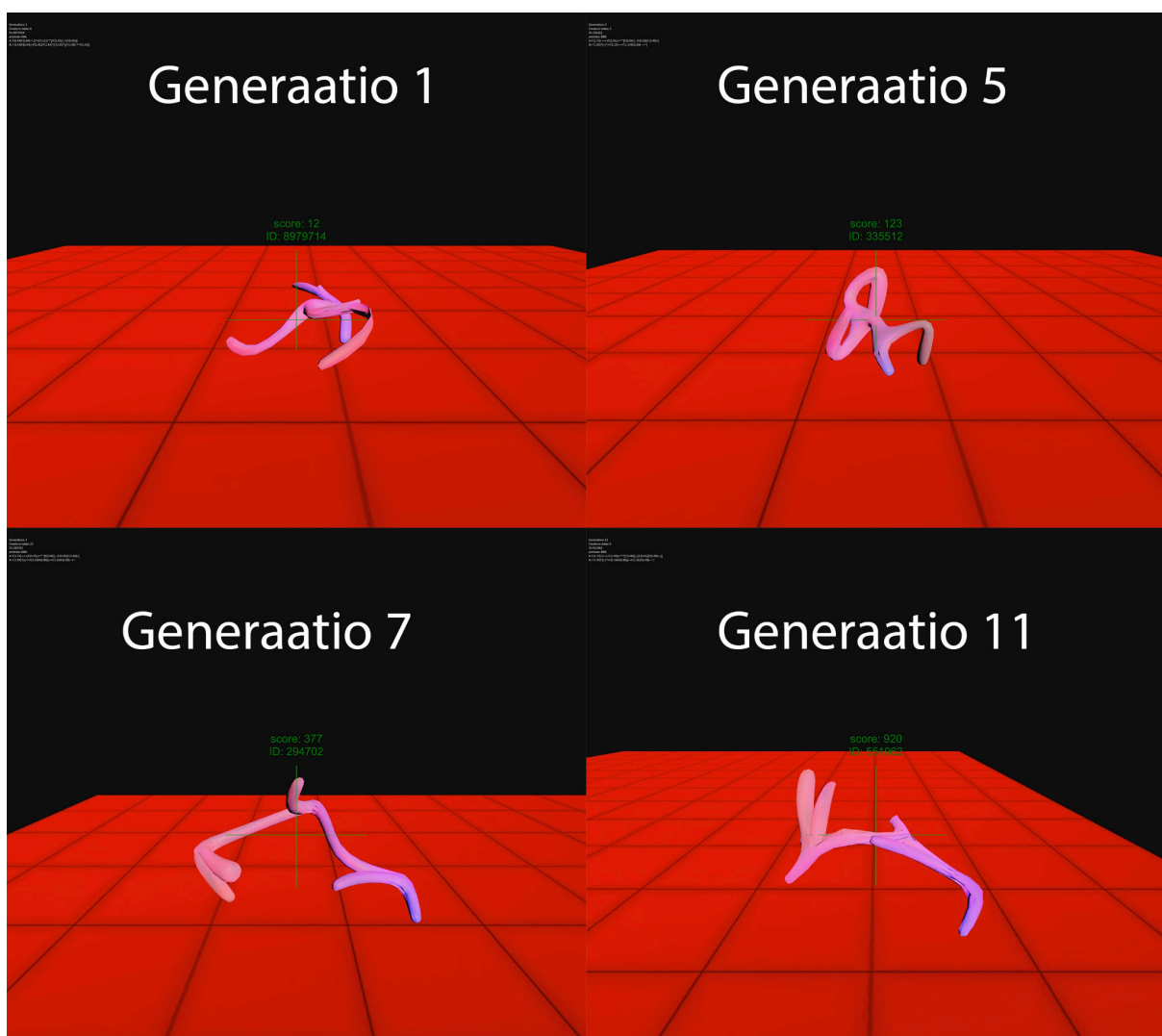
Mutaatio

Jotta populaatio ei jämähdä paikalliseen optimiin, tehdään myös pieniä geenimutaatioita. L-systeemin merkkijonosta voidaan vaihtaa, lisätä tai poistaa yksittäisiä symboleja ja liikeparametreihin tehdään satunnaisia muutoksia. Järjestelmän alkutilassa määritelty prosentuaalinen numeroarvo *mutaationopeus* (engl. mutation rate) määrittelee, kuinka paljon

muutoksia geeneihin tehdään. Tämä arvo on matala, jotta hyvin pärjäävät geenit eivät heti seuraavassa generaatiossa muuntauudu liian erilaisiksi. (Kuva 3.)

Renderöinti ja videon kokoaminen

Simulaation rinnalla tallennan jokaisesta simulaatiosta videon ruutu kerrallaan ja pakkaan ne FFmpeg-enkooderilla kevyiksi MP4-videoiksi. Kun kaikki generaatiot ovat valmiit, nämä klipit yhdistetään kronologiseksi koosteeksi Python-skriptillä. Näin evoluution kaari hahmottuu kokonaisuudessaan.



Kuva 4: Kuvassa eri generaatioista valikoituja kuvakaappauksia. Muodot ovat ensimmäisissä generaatioissa monipuolisempia ja myöhempien generaatioiden muodoissa on vähemmän moninaisuutta.

Uusi generaatio

Risteytyksen ja mutaation tuloksena syntynyt uusi populaatio palaa putken alkuun. Jo muutamassa sukupolvessa on usein nähtävissä keskimääräinen parannus liikkumisessa, vaikka yksittäiset mutaatiot voivat välillä heikentää suoritusta. Tämä epätasaisuus kuuluu prosessiin. (Kuva 4.)

3. *Genetic variations* Kuvan Keväässä

Opinnäytetyön taiteellisessa osuudessa loin kolmiulotteisen muodon hakutilan. *Genetic variations* video-installaatio on esitys digitaalisesta evoluutioprosessista, jossa näyttöpäätteellä nähdään, kun matomaiset haarautuvat oliot ryömivät simuloitussa ympäristössä ja muuntuvat populaatioina sukupolvesta toiseen. Oliolle kasvaa raajamaisia ulokkeita ja niiden liike muovautuu ajan myötä. Tämä tapahtuu geneettistä algoritmia hyödyntävässä ohjelmistoprosessissa. Teoksessa oliot syntyvät, kilpailevat liikkumiskyvyssä ja menestyvimpien ominaisuudet periytyvät seuraaville sukupolville. Lopputuloksena on video, jossa prosessi konkretisoituu visuaalisesti generoituvina muotoina ja liikkeinä.

Teos herättää kysymyksiä: Mitä tarkoittaa “fitness” taideteoksessa ja onko se vain laskennallinen sääntö vai voiko olioiden ajatella olevan yksilöitä, jotka todellakin kilpailevat jollain tavalla? Termit kuten “geeni”, “risteytyminen”, “mutaatio” ja “evoluutio” ovat kuitenkin vain metaforia, jotka tarjoavat ymmärrettävän kielellisen kehyksen puhua prosessista, joka muuten olisi abstrakti optimointialgoritmi. Metaforat myös vaikuttavat suhtautumiseemme, alamme helposti puhua olioista kuin ne olisivat eläviä.

Teoksessa olen rakentanut järjestelmän, joka generoi muotoja omalla autonomisella logiikallaan. Taiteilija William Lathamia mukailen taiteilijana roolini teoksessa oli olla “puutarhuri”, joka asettaa tietyt säännöt ja elinolot ja sitten seuraa, minkälaisia olioita näistä säännöistä kehittyy. Videossa katsoja näkee lopputuloksena geneettisen algoritmin *jalostamia* olentoja. (Kuva 5.)

tarkoitushakuisena, vaikka tietäisimme niiden olevan laskennallisia. Teokseni hyödyntää tätä havaintopsykologista ominaisuutta.

Näyttelyarkkitehtuuri oli tärkeä osa teosta. Rakensin tilallisen esillepanon, jossa 8:9-kuvasuhteen neliömäinen tietokonemonitori sekä kaksi Donald Juddin ikonista tuolia asettuivat alkovimaiseen tilaan. Nämä suorakulmaiset elementit muodostivat geometrisen koordinaatiston, jonka sisällä ei-kulmikkaat muodot esiintyivät. Tämä geometrinen areena toimi orgaanisen muodon ja liikkeen matriisina, jossa suorakulmaisten elementtien sekä olioiden kiemurtelevat hahmot loivat näennäistä vastakkainasettelua. Tuolit eivät olleet viittauksia taidehistoriaan, vaan välineitä tilan ja katsomisen organisointiin sekä osa suorakulmaisten muotojen järjestelmää. Judd kirjoittaa tekstissään *It's Hard to Find a Good Lamp*: "Jos tuoli tai rakennus ei ole funktionaalinen, jos ne ilmenevät vain taiteena, se on naurettavaa. Tuolin idea ei ole sen yhtäläisyys taiteeseen, vaan sen järkevyyden, käytettävyys ja mittakaava tuolina." (Oma käänös) [7] Tuolit sekä näyttö määrittävät tilan, jossa videoteos ilmenee ja rakentavat katsojalle teoksen ympäristön ja mittakaavan.

3.1 Mitä opin ja miten teos asettuu evoluutiotaitteen kenttään?

Morfogeneesi toimi järjestelmässäni toivomani mukaan. L-systeemin variaatiot tuottivat yllättäviä ja kiinnostavan näköisiä otuksia. Soveltuvuusarvo eli fitness, nousi useimmissa sykleissä sukupolvi sukupolvelta, ensin hieman nopeammin ja sitten hitaammin. Joissakin sukupolvissa hyvin pärjäävä muoto saattoi nostaa mediaania, mutta seuraavissa satunnainen mutaatio saattoi laskea suoritusta. Tämä on geneettisille algoritmeille tyypillistä, eli kehitys tapahtuu populaation tasolla, eikä populaatio kiihdy yhteen muotoon.

Generaatioiden skaalaus tuotti teoksessa pullonkaulan. Vaikka teoriassa PDG:ssä prosessien rinnakkaistaminen tekee tällaisesta tuotantoputkesta helposti lähestyttävän, niin *feedback* eli tulosten syöttäminen alkuun piti rakentaa räätälöidysti. PDG on ensisijaisesti tehtävien orkestrointia ja riippuvuuksien hallintaa varten, eikä sisällä toimivaa *feedback* toiminnallisuutta. Tämä johti siihen, että jouduin paketoimaan PDG-verkoston ja kopioimaan sitä haluttujen generaatioiden määrän verran. PDG-teknologian hyödyllisyys tuli siitä, että sain ajettua geometrian luomisen, simulaation, renderöinnin ja muut työvaiheet rinnakkain sekä automatisoitua lopullisen esitettävän videon tekemisen nappia painamalla.

Teokseni esikuvana ja inspiraationa toimi Karl Simsin *Evolved Virtual Creatures* (1994). Simsin menetelmässä sekä keho että liike, jota määritti neuroverkkopohjaiset “aivot”, kehitettiin yhtä aikaa fysiikkasimulaatiossa. Käyttäytymistä ohjattiin tehtäväkohtaisilla fitness-funktioilla, esimerkiksi uimisessa, kävelyssä, hyppimisessä ja kohteen seuraamisessa. Olennot myös “aistivat” ympäristönsä sensorien kautta, esimerkiksi kohdetta seurattaessa olennoille voitiin syöttää dataa kohteen suunnasta ja etäisyydestä.

Oma valintani oli kääntää painopiste morfogeneesin havaitsemiseen. Kehot eivät koostu palikoista, vaan ne ovat deformoituvia muuntuvia kappaleita, joita nivelten liikefunktiot taivuttavat ja kiertävät. Raajat eivät ole ruumiista erillisiä kappaleita. Taipuessaan ne muokkaavat koko ruumiin tilavuutta.

Ratkaisuni oli myös demokratisoida kaikki yksilöt jokaisesta sukupolvesta, jotta huomio siirtyy lopputuloksen sijaan muotoihin, liikkeeseen ja niiden muutokseen.

Teosta voidaan tarkastella optimoinnin ja taiteen katsomisen erilaisesta ja jopa päinvastaisesta lähtökohdista. Taiteen kontekstissa katsoja kohtaa teoksen omista lähtökohdistaan ja voi tulkita sitä vapaasti. *Genetic variations* teoksen kohdalla katsojalle ei selitetty teoksen teknisiä lähtökohtia, vaan hän näkee jatkuvan sarjan matomaisia otuksia kolmiulotteisessa simulaatiossa.

Halusin myös teoksella tutkia ihmisen taipumusta lukea tarkoituksellisuutta geometrisiin liikkeisiin. Heiderin ja Simmelin klassikkokoe 1940-luvulla esitti, että yksinkertaiset animoidut geometriset muodot ymmärretään inhimillistetyn toimijuuden kautta. Sama periaate toimii teoksessani. Vaikka tiedämme, että kyse on laskennallisesta satunnaistetusta prosessista, katsomme videon olentoja yksilöityneinä eliöinä.

Deformoituvan rungon dynamiikka aiheutti omia teknisiä ongelmia. Koska olioiden tilavuus ei animoituessa pysynyt vakiona, tietyt johdetut suureet, kuten keskipakovoima, eivät nopeissa liikkeissä aina käyttäytyneet odotetulla tavalla.

Kuten DeLanda painottaa, muoto syntyy populaation tasolla ja suunnittelijan tehtävä on rakentaa rikas hakutila, jossa voi muodostua kiinnostavia ja toimivia individuaatioita. Geenin

ja piirteen välisen yhteyden mallintaminen on se työ, joka tehdään geneettistä algoritmia hyödynnettäessä.

Työni keskeinen panos oli se, että yhdistin evoluutiosimulaation kontekstiin L-systeemin luurankomaisen morfologian, luurangon nivelten parametrinen liikkeen ja automatisoidun animoidun rungon. Vertailun vuoksi Sims kehitti tehtäväkohtaisia olentoja, jotka optimoitiin suoriutumaan tietyissä ympäristöissä. Minä taas keskityin siihen, että keho ja ele ovat luettavissa. Halusin, että pienet geneettiset muutokset näkyvät konkreettisesti muodon haarautumisessa ja liikkeen rytmissä. Lopullinen video ei ole kooste parhaista suorituksista vaan kronologinen esitys, jossa jokainen yksilö ja jokainen sukupolvi esitetään samoilla ehdoilla. Katsoja voi seurata, miten satunnainen mutaatio muuttaa rytmiä tai kasvattaa uuden haaran, ja miten muutos joko jää eloon tai häviää seuraavissa risteytyksissä.

3.2 Jatkoksi

Jos jatkaisin teoksen kehittämistä, kehittäisin olioiden liikettä ympäristöä aistivaksi. Nykyisen siniaallon ja ajan funktion perustuvan liikesysteemin voisi vaihtaa esimerkiksi siten, että olio saisi syötteitä sekä ympäristöstä että muista raajoista. Tällä tavalla olisi mahdollista korjata ongelma, jossa olioiden raajat voivat animoitua päällekkäin. Olioilla voisi olla yksinkertaisia antureita, jotka kertovat esimerkiksi raajan etäisyyden maasta tai suuntavektoreita, jotka ohjaavat suunnan johonkin pisteeseen. Näin syntyisi ohjaus, joka on reaktiivinen, eikä vain toista valmista rutiinia. Pelkän etenemisen sijaan käytössä voisi olla hyvinkin erilaisia fitness-tavoitteita. Simsin tavoin olisi kiinnostavaa tutkia, miten useat yksilöt voisivat toimia suhteessa toisiinsa tai jopa yhdyskuntina.

Teokseni ei etsi parasta lopputulosta, vaan ilmentää digitaalista evoluutiota. Se asettuu Karl Simsin tutkimuksellisen perinteen ja William Lathamien kaltaisten evoluutiotaiteilijoiden jatkumoon. Teos sisältää kuitenkin omat taiteelliset ratkaisunsa, joissa populaatiot esitetään kronologisesti ja yksittäiset mutaatiot sekä niiden seuraamukset tulevat näkyviksi.

4. Lopuksi

Kiinnostukseni geneettisiin algoritmeihin syntyi, kun käytin arkkitehtien ja muotoilijoiden suosimaa Grasshopper-ohjelmistoympäristöä 3D-mallinnukseen. Grasshopper on Rhinoceros 3D-ohjelmistoon liitettävä parametrinen mallinnuksen laajennus. Sitä käytetään muun muassa arkkitehtuurissa ja rakennesuunnittelussa sekä esimerkiksi valaistuksen energiatehokkaassa suunnittelussa. Tutustuin parametriseen muotoiluun, jossa muodot ovat säädettävien riippuvuuksien verkkoja. Parametrisuus suunnittelussa tarkoittaa, että muoto, rakenne tai jokin muu määritellään joukolla nimettyjä arvoja eli parametreja. Näitä parametreja muuttamalla sama prosessi tuottaa aina uusia variaatioita.

Grasshopperin parissa tutustuin sen kehittäjän David Rutten tekemään Galapagos-nimiseen evolutiiviseen ratkojaan (engl. solver), joka etsii käyttäjän määrittelemälle soveltuvuusfunktiolle mahdollisimman hyviä ratkaisuja. Ruttenin *Evolutionary Principles applied to Problem Solving* blogikirjoituksessa hän toteaa: “Ellei ennalta määriteltyä ‘riittävän hyvää’ arvoa ole määritelty, prosessi pyrkii jatkumaan loputtomiin, eikä koskaan saavuta Vastausta, tai sen saavutettuaan, se ei tunnista sitä sellaiseksi kuin se on.” (Oma käänös) [8] Tämä evolutiivisen prosessin runollinen luonteenpiirre, sen ajallinen ikuisuus, jatkuvuus sekä määrittämätön päämäärä, olivat teemoja, jotka kiehtoivat minua ja halusin tutkia niitä videotaiteen kontekstissa.



Kuva 6: Genetic variations installaatio.

Lähteet

- [1] DeLanda, Manuel. 2002. "Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture." *Architectural Design* 72(1): 9–12.
<https://www.mat.ucsb.edu/~g.legrady/academic/courses/08f200a/sites/SS/refs/deleuze.pdf>. Viitattu 12.9.2025.
- [2] Sims, Karl. 1994. "Evolving Virtual Creatures." *SIGGRAPH '94 Proceedings*, 15–22. ACM. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/192161.192167>. Viitattu 12.9.2025.
- [3] Falconer, Rachel. 2024. "Alternative Evolution | William Latham." *Right Click Save*, 16.5.2024.
<https://www.rightclicksave.com/article/alternative-evolution-william-latham-interview-generative-art>. Viitattu 12.9.2025.
- [4] Przemyslaw Prusinkiewicz ja Aristid Lindenmayer. 1990. *The Algorithmic Beauty of Plants*. New York: Springer-Verlag. Algorithmic Botany:
<https://algorithmicbotany.org/papers/abop/abop.pdf>. Viitattu 12.9.2025.
- [5] SideFX. n.d. "Introduction to TOPs." Houdini 20.5 -dokumentaatio.
<https://www.sidefx.com/docs/houdini/tops/intro.html>. Viitattu 12.9.2025.
- [6] Heider, Fritz, ja Marianne Simmel. 1944. "An Experimental Study of Apparent Behavior." *The American Journal of Psychology Vol. 57, No. 2*: 243–259.
<https://cs.uky.edu/~sgware/reading/papers/heider1944experimental.pdf>. Viitattu 12.9.2025.
- [7] Judd, Donald. 1993. "It's Hard to Find a Good Lamp." Judd Foundation, PDF.
https://juddfoundation.org/wp-content/uploads/2021/11/Its_Hard_To_Find_A_Good_Lamp_1993.pdf. Viitattu 19.9.2025.
- [8] Rutten, David. 2010. "Evolutionary Principles applied to Problem Solving." *Grasshopper3D*-blogi, 24.9.2010.
<https://www.grasshopper3d.com/profiles/blogs/evolutionary-principles>. Viitattu 12.9.2025.