



Julia Hautanen

# Proseduraalinen mallintaminen 3D- tuotannossa

Porrastyökalun luonti Houdini-ohjelmalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi (AMK)

Viestinnän tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

6.10.2023

## Tiivistelmä

Tekijä(t):	Julia Hautanen
Otsikko:	Proseduraalinen mallintaminen 3D-tuotannossa: Porrastyökalun luonti Houdini-ohjelmalla
Sivumäärä:	44 sivua + 2 liitettä
Aika:	6.10.2023
Tutkinto:	Medianomi (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Viestintä
Suuntautumisvaihtoehto:	3D-animaatio ja -visualisointi
Ohjaaja(t):	Lehtori Kristian Simolin

---

3D-tuotannon toteutus on aina sisältänyt proseduraalisia ominaisuuksia 3D-malleja tehdessä. Tässä opinnäytetyössä keskitytään tutkimaan noodipohjaista proseduraalista mallintamistekniikkaa. Sen avulla voidaan luoda työkalu, jonka avulla voi saavuttaa monia erilaisia lopputuloksia, ja se on ei-tuhoava työskentelymetodi.

Työn teoriaosuudessa käydään läpi pintapuolisesti Autodeskin Maya-ohjelmalla luotua 3D-mallia sekä sitä, mistä 3D-malli koostuu ja miten sitä muokataan manuaalisesti. Työssä tarkastellaan myös, mitä yleensä toteutetaan käyttäen proseduraalisia työkaluja 3D-tuotannossa, sekä mistä proseduraalinen malli koostuu Blender-ohjelmassa ja SideFX-yhtiön luomassa Houdini-ohjelmassa. Lisäksi käydään läpi, miten proseduraalista työkalua pystyy käyttämään jatkosovelluksissa, kuten pelimoottorissa.

Käytännön osuudessa tehtiin oma työkalu, jolla voi tehdä portaita. Siihen käytettiin Houdini-ohjelmaa. Tarkoituksena oli tutkia erilaisia toteutusmahdollisuuksia ja sitä, mitä vaaditaan toimivan proseduraalisen työkalun luomiseen.

Avainsanat: 3D, proseduraalisuus, proseduraalinen mallinnus, proseduraalinen työkalu, proseduraalinen generointi

## Abstract

Author(s): Julia Hautanen  
Title: Procedural modelling in 3D production: Creating a staircase tool with Houdini software  
Number of Pages: 44 pages + 2 appendices  
Date: 06 October 2023

Degree: Bachelor of Culture and Arts  
Degree Programme: Media  
Specialisation option: 3D Animation and Visualisation  
Instructor(s): Kristian Simolin, Senior Lecturer

---

3D production has always included procedural features when making 3D models. This thesis focuses on investigating the node-based procedural modelling technique. With it, you can create a tool with which you can generate many different results, and it is a non-destructive working method.

In the theory part of the work, I briefly go through how a 3D model is created with the Autodesk Maya program, what the 3D model consists of, and how it is modified manually. I study what is typically implemented when using procedural tools in 3D production, including the composition of procedural models in the Houdini software created by SideFX company and the Blender program, which is open-source software. I will also explore how you can apply a procedural tool in various applications, such as in a game engine.

In the practical part, I developed my own tool for creating stairs using the Houdini program. The purpose is to investigate different possibilities for building the tool and what it takes to create a functional procedural tool.

Keywords: 3D, proceduralism, procedural modelling, procedural tool, procedural generation

## Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Työn lähtökohdat	2
1.2	Mihin proseduraalista työtapaa käytetään viihdealalla	2
2	Keskeisiä käsitteitä	5
3	Manuaalinen mallintaminen 3D-tuotannossa	7
3.1	Manuaalinen mallintaminen	7
3.2	3D-mallin jatkokäyttö	9
4	Proseduraalinen mallintaminen	10
4.1	Mitä on proseduraalinen mallintaminen	10
4.2	Milloin proseduraalista mallintamista kannattaa käyttää	13
4.3	Mistä proseduraalinen malli koostuu	16
4.3.1	Blender-ohjelman proseduraalisuus	16
4.3.2	Houdini-ohjelman proseduraalisuus	18
4.4	Proseduraalisten työkalujen vienti muihin sovelluksiin	20
4.4.1	Blender-ohjelman BEngine-lisäosa ja Altermesh-lisäosa	20
4.4.2	Houdini-ohjelman Houdini Engine -lisäosa	21
4.5	Miten proseduraalisuus eroaa manuaalisesta mallintamisesta	22
5	Projektina proseduraalinen porrastyökalu	23
5.1	Toteutus	24
5.1.1	Kierreportaat	24
5.1.2	Kelluvat portaat	30
5.1.3	Portaat kiinteällä pohjalla	33
5.2	HDA, käyttöliittymä ja työkalun käyttö	35
6	Yhteenveto	40
6.1	Oma kokemus ja jatkokehitys	40
6.2	Proseduraalisuus työskentelytapana	41
	Lähteet	42
	Kuvalähteet	44

Liitteet	45
Liite 1. Proseduraalisen porrastyökalun esittelyvideo	45
Liite 2. Proseduraalisen porrastyökalun noodien esittelyvideo	45

# 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö käsittelee noodipohjaista proseduraalista 3D-mallintamista. Kun 3D-malli luodaan manuaalisesti 3D-ohjelmassa, se luodaan niin sanotusti yhdelle tasolle. Proseduraalisessa työtavassa malli rakennetaan noodeilla, jotka sisältävät eri proseduureja. Noodeista rakennetaan noodiverkostoja eri tasoilla ja lopuksi ne yhdistetään yhdeksi noodiksi ja sille tehdään käyttöliittymä. Käyttöliittymään lisätään noodiverkostosta halutut parametrit, joilla muokataan esimerkiksi siitä luodun 3D-mallin eri osien korkeutta, leveyttä tai sijaintia.

Proseduraalisten työkalujen tarve on lisääntynyt pelituotannossa. Tätä varten eri ohjelmat ovat kehittäneet visuaalisempia, eli noodipohjaisia tapoja toteuttaa sitä. Monissa ohjelmistoissa on nykyään proseduraalisen mallintamisen mahdollistavia työkaluja kuten esimerkiksi vuonna 2021 julkaistun Blender 3.0:n mukana tullut Geometry Node Editor.

SideFX:n luoma Houdini-ohjelma on kyseisen työskentelytavan edelläkävijä. Kuten heidän verkkosivuillaan kerrotaan, he ovat tarjonneet ja kehittäneet proseduraalisia työskentelytapoja vuodesta 1987 lähtien. Se on ollut suuremmalla käytöllä elokuvien visuaalisten efektien luonnissa (VFX), mutta hiljattain Houdini on yleistynyt myös peliteollisuuden käytössä, jolla on luotu seuraavan sukupolven sisältöä ja huippuluokan visuaalista laatua. Houdinilla voi tehdä proseduraalisia työkaluja ja käyttää niitä suoraan Houdini Engine -lisäosalla Unreal Engine- ja Unity-pelimoottorissa tai Autodesk Maya- ja 3ds Max -3D-ohjelmissa. (SideFX i.a.)

Johdannon ensimmäisessä luvussa kerrotaan, miksi otin tämän aiheen opinnäytetyökseksi. Toisessa luvussa kerron hieman, mitä muita asioita on esimerkiksi mahdollista toteuttaa proseduraalisia työtapoja käyttäen.

## 1.1 Työn lähtökohdat

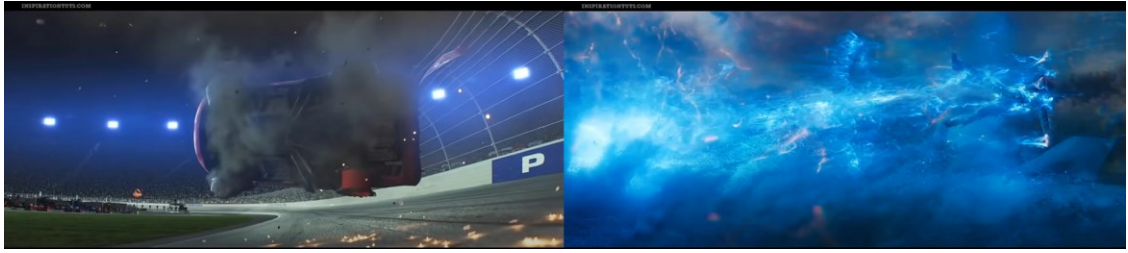
Opinnäytetyön lähtökohtana oli tutkia enemmän proseduraalisen työkalun luontia ja sen hahmottamista, missä kohtaa olisi järkevää käyttää tätä työskentelytapaa tulevilla projekteilla. Opintojeni aikana pääsin tutustumaan Houdini-ohjelmaan ja siitä innostuneena halusin perehtyä proseduraaliseen 3D-mallin luomiseen enemmän. Haluan omaksua enemmän työskentelyä tehostavia toimintamalleja. Monissa tuotannoissa käytetään valmiiksi tehtyjä proseduraalisia työkaluja, joten on hyvä tietää mistä ne koostuvat, jotta voi tietää mikä on hyvä työkalu ja onko se mahdollisesti jatkokehitettävissä.

Tämän opinnäytetyön projektiosuudessa toteutin porrastyökalun Houdinilla, jonka pohjana on kolme erilaista portaikkomallia: kierreportaat, kelluvat portaat ja portaat kiinteällä pohjalla. Tällä pystyin hahmottamaan, mitä ajatustyötä projekti vaatii, mitä sillä pystyy luomaan ja mitkä ovat sen jatkokehitysmahdollisuudet.

Opinnäytetyötä varten tein kaksi videotallennetta, liitteet 1 ja 2. Ensimmäisessä esittelen, miten työkalua voi käyttää, ja toisessa esittelen porrastyökalun noodiverkostoa.

## 1.2 Mihin proseduraalista työtapaa käytetään viihdealalla

Proseduraalisia työkaluja käytetään paljon elokuva- ja televisiotuotannossa visuaalisten efektien luonnissa (VFX). Houdini-ohjelmassa voi käyttää Dynamics-verkostoa luotaessa simulaatioita, jotka jäljittelevät todellisuutta. Niillä voi esimerkiksi jäljitellä vettä, savua ja tulta. Houdini-ohjelmalla optimoidaan projektien kokoa luotaessa suuria simulaatioita. (Houdini 19.5 i.a. a.) InspirationTuts-YouTube-kanavalla näytetään monia esimerkkejä, miten elokuvatuotannossa on käytetty Houdini-ohjelmaa. Siinä kerrotaan, että Disney on käyttänyt kyseistä ohjelmaa luodessaan Marvelin elokuvia ja myös animaatioelokuvia kuten Autot ja Frozen (ks. kuva 1). (InspirationTuts 2020.)

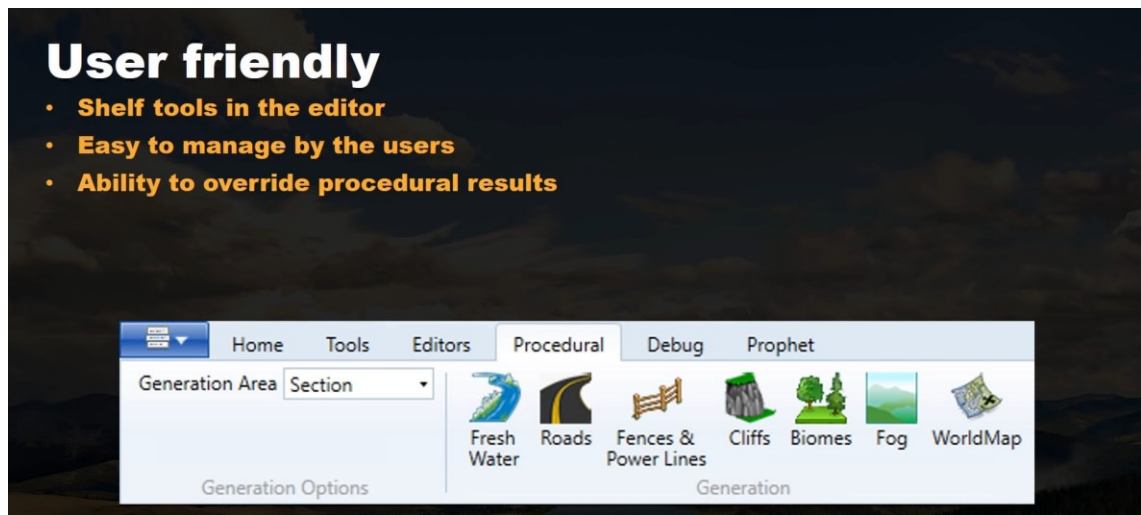


Kuva 1 Visuaalisia efektejä havainnollistava kuva Disneyn Autot-elokuvasta vasemmalla ja Frozen-elokuvasta oikealla. (InspirationTuts 2020.)

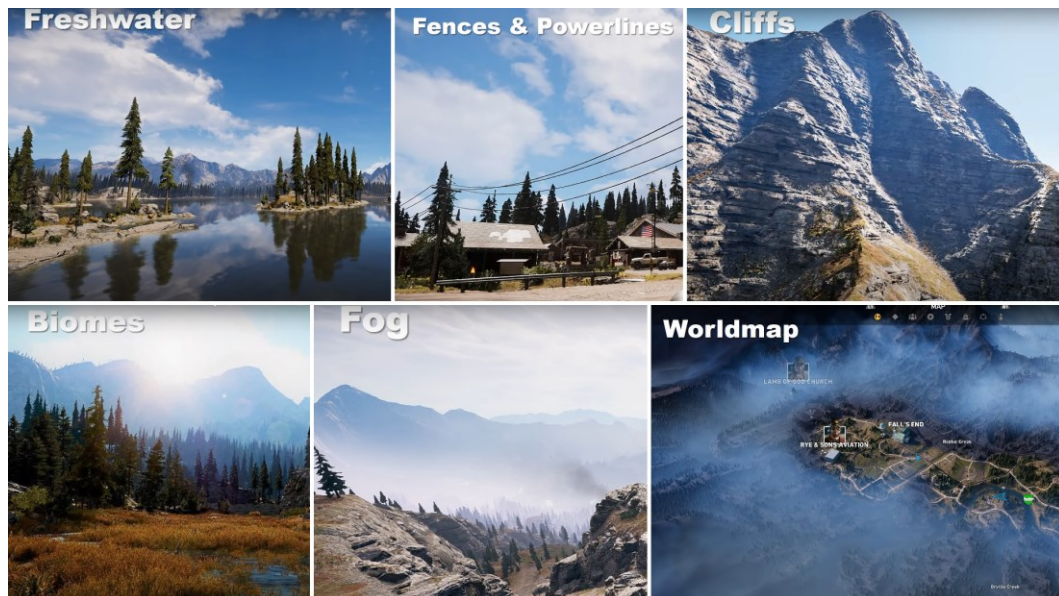
Peliteollisuudessa Houdinin proseduraalisuutta käytetään yleisesti kenttäsuunnittelussa ja kenttien luonnissa, mutta myös mallinnuksessa toistuvien mallien luomisessa, esimerkiksi ajoneuvojen, aseiden ja jopa hahmojen luontiin, kertoo Reverón Adolfo Rebelwayn julkaisemassa verkkoartikkelissa (Reverón i.a.).

Tällä hetkellä on suuri kysyntä peleille, jotka pitävät sisällään suuria avoimia maailmoja. Nämä ovat erittäin hitaita ja hintavia luoda manuaalisesti mallinnettuna. Proseduraalisella työtavalla saa luotua pelimaailmoja suurissa mittakaavoissa ja automatisoidusti. Se säästää työtunteja ja kustannuksia. (InspirationTuts 2020.)

Esimerkiksi Ubisoftin tekninen artisti Carrier Etienne kertoo esitelmässään, miten he vuonna 2018 julkaisemaansa Far Cry 5 -peliin olivat tehneet proseduraalisia työkaluja (ks. kuva 2). Nämä helpottivat artistien työtä avoimen maailman luonnissa. He loivat työkalut veden, teiden, aitojen ja kaapelien, kallioiden, kasvillisuuden, sumun ja kartan luontiin (ks. kuva 3). (Houdini 2018.)



Kuva 2 Kuvakaappaus Carrier Etiennen esitelmästä, jossa hän esittelee eri proseduraalisia työkaluja, joita he loivat Far Cry 5 -peliin. (Houdini 2018.)



Kuva 3 Carrier Etiennen esitelmästä havainnekuvia työkaluilla tehdyistä töistä Far Cry 5 -peliin. (Houdini 2018.)

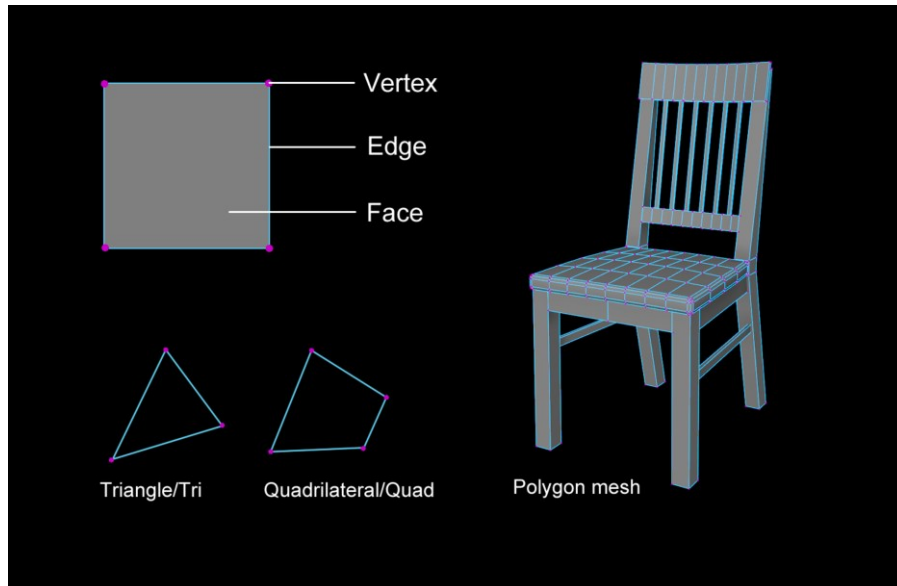
Toisena esimerkkinä voidaan mainita Baqery Mohsen verkkoartikkelissa esittelemä Bethesda-yhtiön vuonna 2023 julkaisema peli Starfield (ks. kuva 4). Artikkelissa hän kertoo, että he loivat siihen yli tuhat planeettaa proseduraalista työtappaa käyttäen. Noin sataa päätarinallista planeettaa lukuun ottamatta, kaikki pelin kuut ja planeetat on luotu täysin proseduraalisesti. Kun pelaaja lähestyy

planeettaa, peli luo satunnaislukugeneraattoripohjaisia maastoja käyttämällä tämän maailman maatietoja. (Baqery 2023.)



Kuva 4 Planeetta ja avaruusalus Starfield-pelistä. (Baqery 2023.)

## 2 Keskeisiä käsitteitä



Kuva 5 Mistä polygoni muodostuu, eli verteksi, särmä, tahko. Yleisimmät polygonimuodot kolmio (tri) ja nelikulmio (quad). Tuoli 3D-mallin polygoniverkko.

**Procedural modeling, procedural generation, proseduraalinen mallinnus**

on noodiverkostojen tekemistä noodeilla, jotka sisältävät eri parametreja, joita muokkaamalla luodaan 3D-malli. (Houdini 19.5 i.a. b.)

**Procedural tool, procedural generator, proseduraalinen generaattori, proseduraalinen työkalu** on noodi, johon on pakattu noodiverkosto. Siihen on rakennettu käyttöliittymä, joita säätämällä luodaan asioita mihin työkalu on tehty. (Houdini 19.5 i.a. c.)

**Node, noodi** on visuaalinen solmukohta noodiverkossa, johon tallentuu tehdyt toiminnot ja käytetyt parametrit. Siihen voi palata ja sen parametreja ja valintoja pystyy muokata luoden eri lopputuloksia (ks. kuva 15 ja kuva 18). (Joensuu 2016).

**Vertex, vertices, kärkipiste, verteksi** on 3D-avaruuden piste, joka määrittää polygonin muotoa (Kuva 5). (Joensuu 2016.)

**Edge, särmä** on verteksien välinen suora viiva polygoniverkossa (Kuva 5). (Joensuu 2016).

**Face, primitive, tahko** on vähintään kolmen verteksin välille muodostettu pinta polygonissa (Kuva 5). (Joensuu 2016).

**Polygon, polygoni** on vertekseistä, särmistä ja tahkosta muodostuva osio. (Joensuu 2016).

**Polygon mesh, tahkoverkko, polygoniverkko** on monien polygonien luoma verkosto, joka muodostaa visuaalisen 3D-mallin (Kuva 5). (Joensuu 2016).

**Point, piste** on Houdini-ohjelmassa käytettävä termi verteksistä.

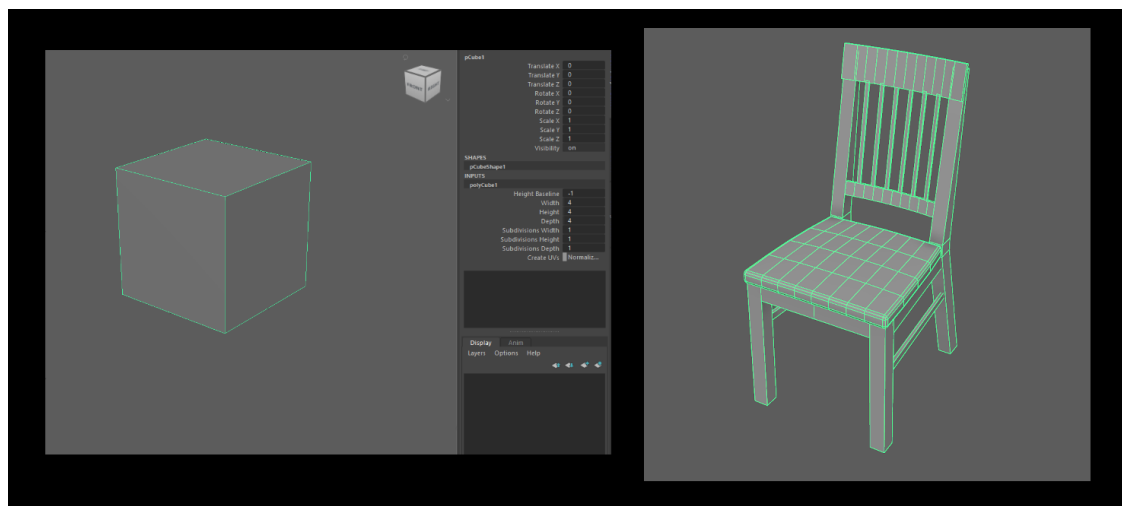
**Plug-in, Add-ons, lisäosa** on tietokoneohjelmaan suunniteltu työkalu/ohjelma, joka lisää ohjelman toiminnallisuutta.

### 3 Manuaalinen mallintaminen 3D-tuotannossa

Tässä luvussa avataan manuaalista mallintamista, jotta myöhemmin on helpompi verrata, miten se eroaa proseduraalisesta työskentelytavasta. Tämän luvun ensimmäisessä osassa käsitellään, miten 3D-malli luodaan ja kuinka sen muokkauksesta syntyy muokkaushistoriaa. Toisessa osiossa käsitellään valmiin 3D-mallin jatkokäyttöä. Opinnäytetyötä varten mallinnettiin tuoli, koska se on yksinkertainen malli ja siitä saa helposti kuvakaappauksia, joiden kautta hahmotaminen on helppoa.

#### 3.1 Manuaalinen mallintaminen

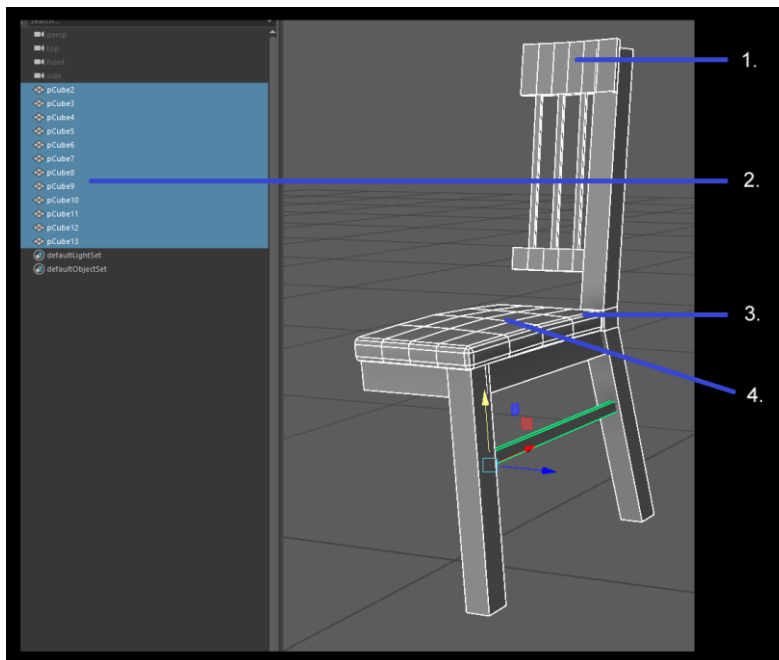
Mallintaja aloittaa mallinnuksen yleensä luomalla kolmiulotteisen geometrisen muodon, jota kutsutaan primitiiviksi. Näitä muotoja ovat esimerkiksi taso (plane), pallo (sphere), sylinteri (cone) tai kuutio (cube) (ks. kuva 6), joista jokainen on muodostunut useasta polygonista. Tämän jälkeen hän muokkaa primitiivin ominaisuuksia saadakseen muodosta enemmän tai vähemmän monitahoisien.



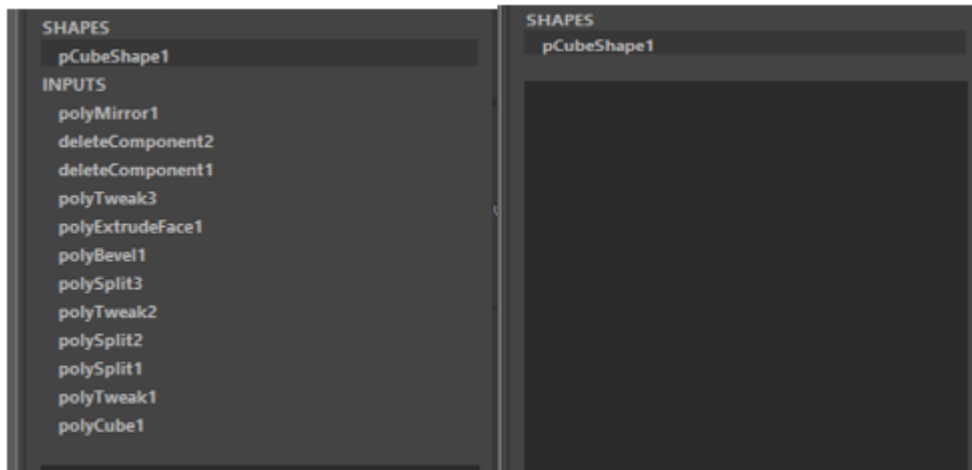
Kuva 6 3D-primitiivikuutio ja tuoli 3D-malli, käytetty ohjelma Autodesk Maya.

Tekijä liikuttaa verteksejä, särmiä ja tahkoja 3D-avaruudessa X-, Y- ja Z-akseleilla. Muokataksaan mallia enemmän primitiivien polygoneja voi jakaa (split), pursottaa (extrude), yhdistää (merge), pehmentää (bevel), leikata (cut) tai poistaa. Näihin toimintoihin on luotu eri työkaluja 3D-ohjelmassa, jotka myös vaihtelevat eri ohjelmissa. Työkaluja näiden edellä mainittujen toimintojen lisäksi on monia muita, mutta nämä ovat tärkeimpien joukossa. (Autodesk Maya 2024 i.a.)

Kuvassa 7 näkyy kohdassa 1, miten esimerkiksi yksi kuutioista on liikutettu halutulle korkeudelle ja sen korkeutta ja syvyyttä on muokattu. Sen jälkeen sitä on pursotettu haluttuun suuntaan, tässä tapauksessa vasemmalle. Myös sen verteksejä on liikutettu 3D-avaruudessa antamaan muodolle enemmän kaarevuutta. Kohdassa 2 näkyy kaikki tähän malliin käytetyt muodot ennen niiden yhdistämistä. Kohdassa 3 näkyy, että kuution reuna on pehmennetty (bevel). Kohdassa 4 näkyy, että kuutiota on leikattu kolme kertaa pituus- ja syvyys suunnassa. Tämän jälkeen sen yläosan verteksejä on nostettu ylöspäin antamaan lisää pyöreyttä istuinosalle. Kun muoto on valmis, malli on peilattu (mirror) toiselle puolelle, jotta siitä tulee kokonainen tuoli (ks. kuva 6).



Kuva 7 Havainnekuva tuolimallista ja siihen käytetyistä eri toiminnoista.



Kuva 8 Esimerkki muokkauksesta kertyvästä historiasta vasemmalla ja oikealla, kun se on poistettu.

Työskentelyn aikana 3D-mallille muodostuu muokkaushistoriaa (ks. kuva 8, vasen). Muokkaushistorian voi poistaa, ja kun sen poistaa, ohjelma tallentaa (bake) muutokset mallin nykyiseen tilaan. Historian poistaminen voi parantaa suorituskykyä ja pienentää tiedostokokoa. (Autodesk Maya 2023 i.a.)

### 3.2 3D-mallin jatkokäyttö

Mallien jatkomuokkaaminen pelimoottoreissa on hankalaa. Sen voi toteuttaa Unity-pelimoottorissa erikseen ohjelmoimalla, mikä saattaa olla hankalaa ja vaatii kokeneen ohjelmoijan taidot, kertoo Tomasz Juszczak blogissaan. (Juszczak i.a.) Unreal Engine -pelimoottorissa on enemmän käyttäjäystävällisiä muokkaustapoja, mutta ei samassa mittakaavassa kuin 3D-mallien luomiseen tarkoitetuissa ohjelmistoissa. Ne ovat lähinnä tarkoitettu pelikentän nopeaan blokkaukseen, eli suurpiirteisten muotojen hahmottamiseen. (Unreal Engine i.a.)

Kun 3D-malli halutaan siirtää 3D-ohjelmasta pelimoottoriin tai toiseen ohjelmaan, se tallennetaan ohjelmasta halutussa tiedostomuodossa, kuten esimerkiksi FBX- tai OBJ-tiedostona. Tätä ennen se tulee siistiä, eli poistaa muokkaushistoria, muuten siitä saattaa seurata häiriöitä seuraavassa ohjelmassa. Eri ohjelmissa toiminnot on ohjelmoitu toimimaan eri periaatteita käyttäen.

## 4 Proseduraalinen mallintaminen

Tässä luvussa käsitellään, mitä on proseduraalisen mallin luonti, miksi niitä kannattaa luoda ja mihin niitä kannattaa käyttää. Avaan myös enemmän työkalun luomisprosessia Blender- ja Houdini-ohjelmassa, tuoden esille näiden eroavaisuuksia.

Ensimmäisessä osassa käsitellään, mitä on proseduraalinen mallintaminen. Toisessa osiossa käsitellään, mihin proseduraalisia malleja kannattaa käyttää. Kolmannessa osiossa avataan enemmän, mistä proseduraalinen työkalu koostuu ja verrataan myös hieman, miten se eroaa Blender- ja Houdini-ohjelmissa. Neljännessä osiossa kerron, miten Houdini- ja Blender-ohjelmien proseduraalisia työkaluja voi käyttää jatkosovelluksissa. Viimeiseen osioon on avattu, miten proseduraalisuus eroaa manuaalisesta työskentelytavasta.

### 4.1 Mitä on proseduraalinen mallintaminen

Proseduraalisessa mallintamisessa keskitytään luomaan menettelytapoja sen sijaan, että luotaisiin manuaalisesti 3D-malli. Proseduraalisuuden avulla voi lähestyä projekteja, jotka ovat normaalisti liian monimutkaisia tai volyymiltaan liian suuria manuaalisesti toteutettavaksi, kertoo Reverón. (Reverón i.a.)

Christos Stavridis, tekninen artisti, joka työskentelee SideFX Labsissa, kertoo esitelmässään proseduraalisuudesta peliteollisuudessa. Hän kertoo, että proseduraalinen työskentelytapa on tehokas tietokonegrafiikkatekniikka, joka pitää sisällään virtuaalisten objektien ja ympäristöjen luomisen käyttäen algoritmeja ja matemaattisia yhtälöitä. Se on sääntöpohjaisen systeemin rakentamista, jossa rakennetaan noodeja käyttäen noodiverkosto. Se on ei-tuhoava työskentelytapa, eli tapa säilyttää informaatiota ilman, että pitäisi säilyttää muokkaushistoriaa. Sillä voi helposti luoda erilaisia lopputuloksia käyttämättä liikaa työskentelyaikaa. (SideFX Houdini 2023.)

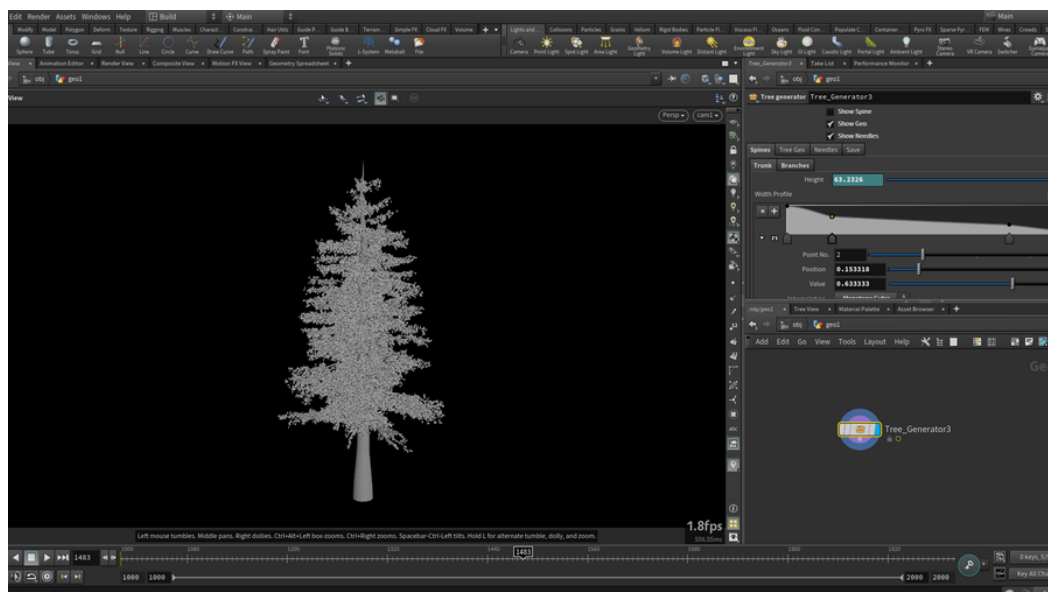
Stavridiksen yksi esimerkiksi on Heroic - Magic Duel -pelin saavutusmerkkien luonti, joka toteutettiin proseduraalisesti, esimerkkejä kuvassa 9. Laatu pysyy

tasaisena ja useita versiota saa tehtyä nopeasti, kun vaihtaa proseduraalisen työkalun parametrejä. (SideFX Houdini 2023.)



Kuva 9 Stavridis esittelee Heroic - Magic Duel -pelistä eri saavutusmerkkejä, jotka on luotu proseduraalisesti. (SideFX Houdini 2023.)

Etsin lisäksi muita esimerkkejä, ja löysin SideFX:n sivulta Tree Generator -työkalun, jonka on tehnyt Richard Laszcz. (SideFX Houdini 2020). Työkalunoodi näkyy kuvassa 10. Käyttäjälle rakennetaan käyttöliittymä, kuvan 10 oikealla ylhäällä. Käyttäjä pystyy tätä kautta säätämään parametreja luoden näillä haluamiaan malleja, joista esimerkkejä näkyy kuvassa 11. Käyttöliittymä voi sisältää eri vaihtoehtoja muokkaamiselle, esimerkiksi muoto, koko, eri osien vaihtaminen mallista tai mallin yleinen rakenne. Mallia ja käyttöliittymää rakennettaessa pyritään siihen, että muokattavuus säilyy ja mallia ei pysty rikkomaan.



Kuva 10 3D-malli on esillä vasemmalla, luotu Tree\_Generator3-noodilla (oikealla alhaalla), ja sen käyttöliittymä näkyy oikealla ylhäällä. (SideFX Houdini 2020.)



Kuva 11 Neljä eri variaatioita puista, joita voi luoda Lasczczin tekemällä Tree Generator -työkalulla. (SideFX Houdini 2020.)

Tekniikkaa käytetään usein luotaessa malleja, joiden teko manuaalisesti olisi aikaavievää ja vaikeaa, kuten maisemat, maastot, puut ja arkkitehtuuriset esineet. Proseduraalinen mallinnus mahdollistaa erittäin yksityiskohtaisten mallien

ja monien variaatioiden luomisen suhteellisen lyhyessä ajassa. (Subhmita 2023.)

Alalla on eri työtehtäviä tekevillä henkilöillä eri nimikkeitä. Proseduraalisia työkaluja rakentavista artisteista käytetään esimerkiksi nimikkeitä Technical Artist, Procedural Artist ja Procedural Technical Artist.

## 4.2 Milloin proseduraalista mallintamista kannattaa käyttää

Stavridis kertoo esitelmässään projektien työnkulusta. Kun projektin edetessä tulee vastaan usein tarpeita tehdä vaativia muutoksia malleihin, proseduraalisesti toteutettuihin malleihin muutokset saa tehtyä nopeasti. Riippuen käytetystä ohjelmasta ja projektista sen voi jopa toteuttaa saman ohjelman sisällä. Manuaalisesti toteutetut mallit saattavat vaatia useita työtunteja riippuen muutoksen laajuudesta. Hyvin rakennettu ja jatkotyöstettävä työkalu säästää artisteilta paljon aikaa. (SideFX Houdini 2023.)

Reverón kuvailee artikkelissaan, että jos projektiin tarvitaan esimerkiksi sata erilaista kiveä tai asetta, ne kannattaa tehdä mieluummin proseduraalisesti kuin manuaalisesti mallintamalla. Proseduraalinen työskentelytapa on hyödyllinen, koska hyvin tehtynä se säästää aikaa. (Reverón i.a.)

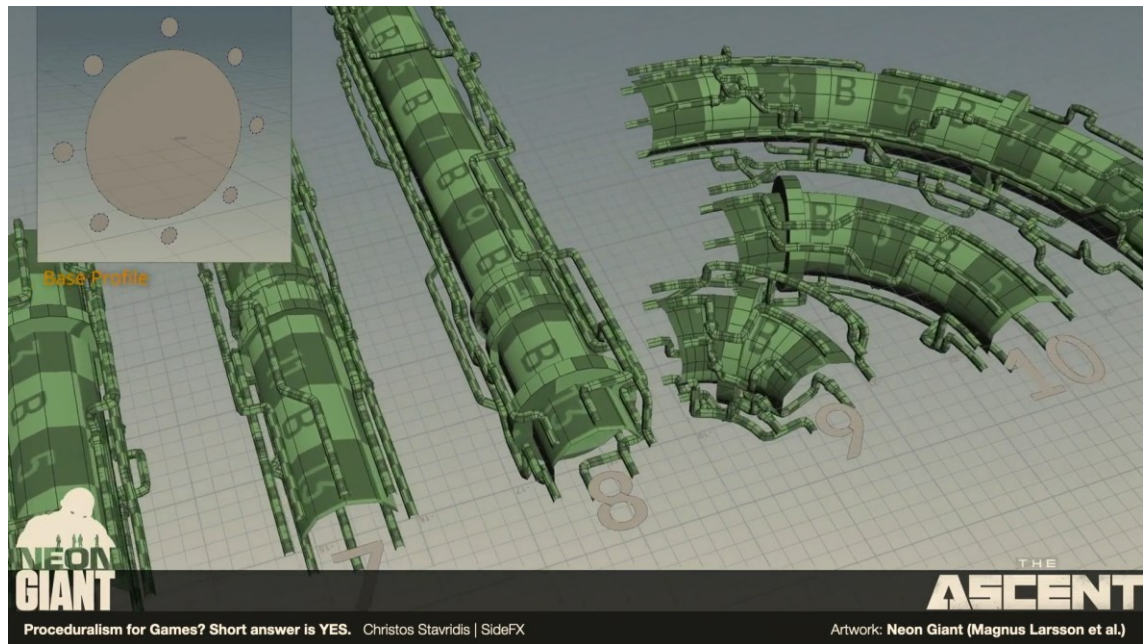
IGN-yrityksen YouTube-kanavalla julkaistussa haastattelussa Gearbox Softwarin työntekijät kertovat, kuinka he mahdollistivat Borderlans 3-pelin massiivisen asekoelman. He kertovat, että peliä tehdessään he loivat proseduraalisen työkalun, jolla he voivat yhdistää eri 3D-malleja yhteen luoden suurin piirtein miljardi erilaista asetta. Aseet eroavat laukaisutyyliltään, tilastoiltaan ja mekanismeiltaan. He mallinsivat kutakin asetta kohdin noin 35 erilaista osaa, jotka syötettiin työkaluun. Näitä yhdistelemällä toisiinsa he saivat luotua tämän valtavan kirjaston, joka näkyy osittain kuvassa 12. (Ign 2019.)



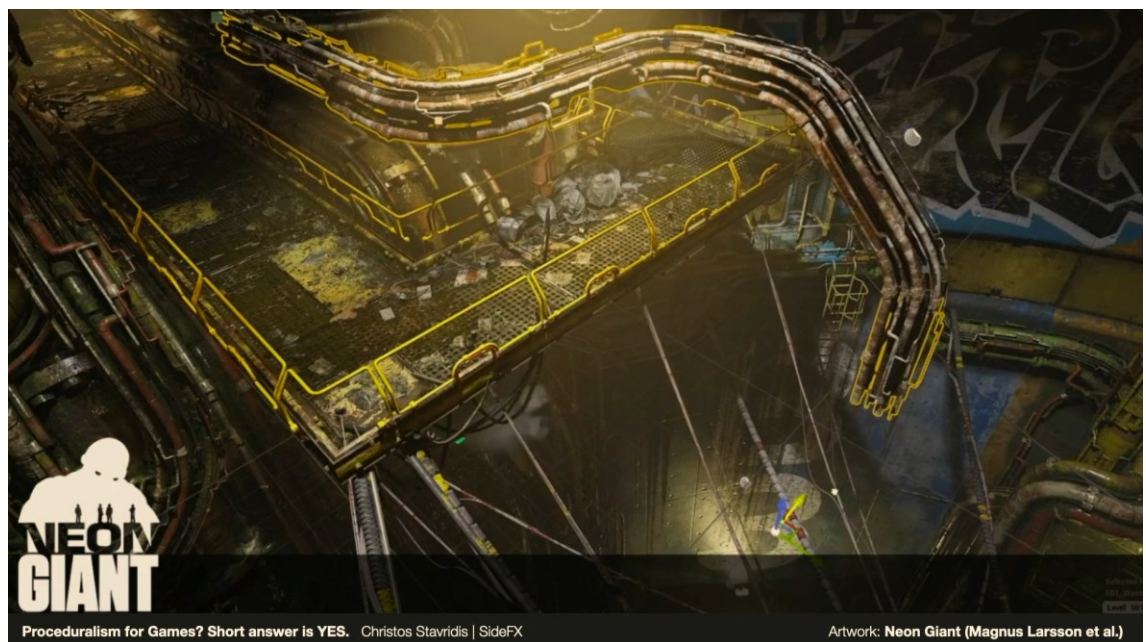
Kuva 12 Kuvakaappaus YouTube-videosta, jossa esitellään osaa Borderlands 3-pelin asekoelmaa. (Ign 2019.)

Proseduraaliset työkalut ovat myös hyviä prototyyppien luontiin ja testaamiseen. Niillä pystyy luomaan valtavan määrän sisältöä ja tuottamaan erilaisia variaatioita, joten erilaisten vedosten luontiin ei kulu paljoa aikaa. Ne myös automatisoivat toistuvia työtehtäviä, jotka manuaalisesti tehtyinä aiheuttaisivat ison työmäärän. Tällä tavoin ne voidaan myös ottaa tukemaan manuaalista mallintamista. (SideFX Houdini 2023.)

Stavridis kertoo esitelmässään, että proseduraalisten työkalujen teko sopii hyvin yhteen moduuleja käyttävässä työtavassa. Moduuli on jonkin isomman kokonaisuuden osa, joita yhdistämällä voi luoda erilaisia lopputuloksia. Esimerkiksi taloja voi rakentaa käyttäen eri moduuleja kuten seinäpalat, kulmapalat, ikkunat ja ovet. Tai putket ja kaapelit, eri taitoskohdille eri moduulit. JSON-tiedostoihin (JavaScript Object Notation) tallennetaan tiedot eri moduuleista, joita käyttämällä työkalu yhdistää ne oikeisiin paikkoihin seuraten määrättyä muotoa, esimerkiksi käyrää (curve), jota voi jatkomuokata myöhemmin. Kuvassa 13 näkyy moduuleja Neon Giant -pelistudion luomaan putkityökaluun. Kuvassa 14 näkyy esimerkki kenttään luodusta putkesta tätä työkalua käyttäen. (SideFX Houdini 2023.)



Kuva 13 Kuvakaappaus moduuleista, joita Neon Giant teki The Ascent -peeliin. Näitä käytettiin proseduraalisen työkalun luontiin. (SideFX Houdini 2023.)



Kuva 14 Havainnekuva kun putkityökalu on käytössä. (SideFX Houdini 2023.)

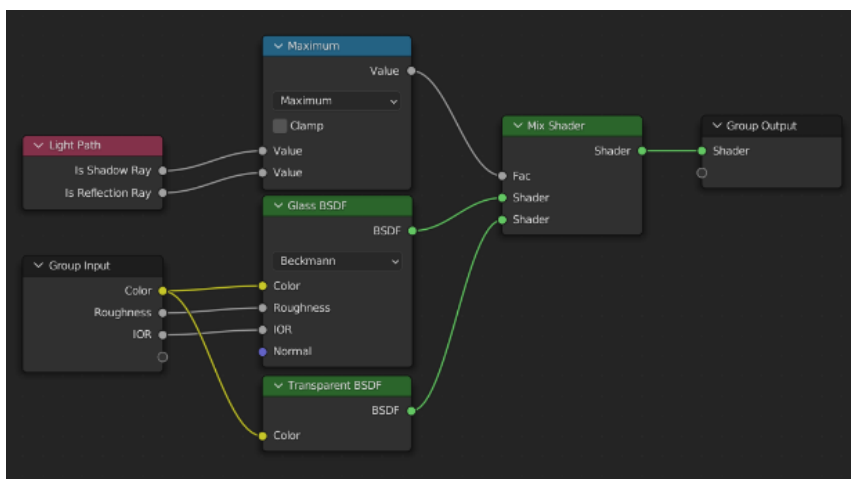
SideFX:n toteuttamaan projektiin Project Titan tehtiin kaksikymmentä eri proseduraalista työkalua, joista neljä oli talo-, aita/kaide-, kaapeli/johto- ja putkityökalu. Far Cry 5 -pelissä rakennettiin proseduraalisesti maaperät, kasvillisuus, tiet, joet, junaradat ja sillat. Resident Evil 7- ja Condemned-peleissä kentän koristelu toteutettiin proseduraalisesti, kuten hämähäkinseitti, tapetit, seinien hajoitus ja roskapussit. (SideFX Houdini 2023.)

### 4.3 Mistä proseduraalinen malli koostuu

Toimintatavat ja termit poikkeavat hieman riippuen siitä, mitä ohjelmaa käytetään. Yhteistä niillä on se, että ne toteutetaan käyttäen noodeja. Noodit ovat mahdollistaneet visuaalisen tavan ohjelmoida. Noodien avulla pystyy siirtämään tärkeää informaatiota pitkin verkostoa noodien sisältämien ominaisuuksien (attribute) muodossa. Opinnäytetyön puitteissa tutustuttiin enemmän Houdini-ohjelman toiminnallisuuksiin, mutta Blender-ohjelmistoa tutkittiin myös vertailukohteenä. Blender-ohjelman toiminnallisuuteen ei kuitenkaan syvennytä kovin syväälle tässä opinnäytetyössä.

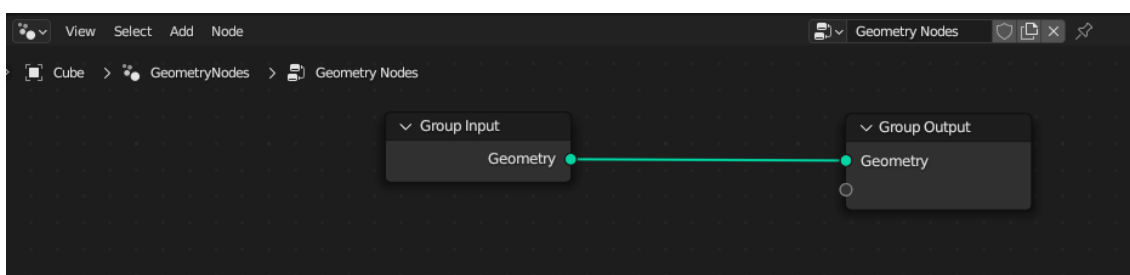
#### 4.3.1 Blender-ohjelman proseduraalisuus

Blender-ohjelman proseduraalinen malli rakennetaan noodeja käyttäen Geometry Nodes -työtilassa. Noodeista muodostuvaa rihmastoa kutsutaan noodipuuksi (node tree). Kun noodipuun yhdistää yhteen noodiin, sitä kutsutaan noodiryhmäksi (node group). Näin kokonaista noodipuuta voi käyttää yhtenä noodina ja yhdistää muihin noodipuihin.



Kuva 15 Blender-ohjelman noodipuu, jossa näkyy Group Input vasemmalla ja Group Output oikealla. (Blender 3.6 Manual i.a.)

Proseduraalista työkalua lähdetään luomaan tekemällä ensin jokin primitiivi, kuten kuutio tai käyrä, 3D-näkymässä. Sen jälkeen mennään Geometry Nodes -työtilaan ja luodaan siellä uusi modifikaattori (modifier), joka pitää sisällään uuden geometry node -ryhmän. Kuvassa 16 näkyy Geometry Nodes Editor -näky, johon tämä uusi noodiryhmä muodostuu. Se koostuu Group Input -noodista, joka pitää sisällään tiedot luodusta primitiivistä, tässä tapauksessa kuutiosta. Siitä kulkee yhteys Group Output -noodiin.

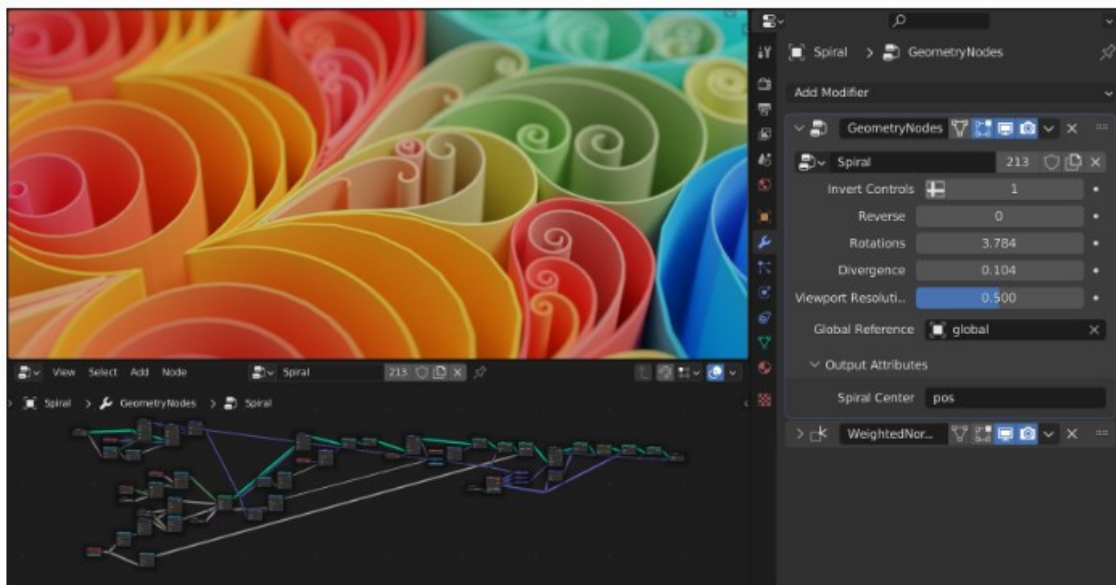


Kuva 16 Geometry Nodes Editor -näky, johon on luotu uusi modifikaattori ja sen sisällä oleva geometry node -ryhmä, joka pitää sisällään kuution tiedot Group Input -noodissa, josta menee tiedot Group Output -noodiin.

Geometry Node Modifier on modifikaattori, johon luodaan visuaalinen käyttöliittymä noodiryhmästä ja siihen määritetään halutut parametrit, joilla saadaan muokattua lopputulosta. Se toteutetaan noodipuussa yhdistämällä haluttujen

noodien liitoskohdat (Field Output) Group Output -noodiin. Näin voi luoda muokattavia ominaisuuksia (Attribute). (Blender 3.6 Manual i.a.)

Kuvassa 17 näkyy esimerkki työkalusta, jolla on luotu erivärisiä kiehkuroita. Sen käyttöliittymä (modifikaattori) näkyy kuvan oikeassa reunassa. Blender-ohjelmassa noodipuu rakennetaan vasemmalta oikealle.

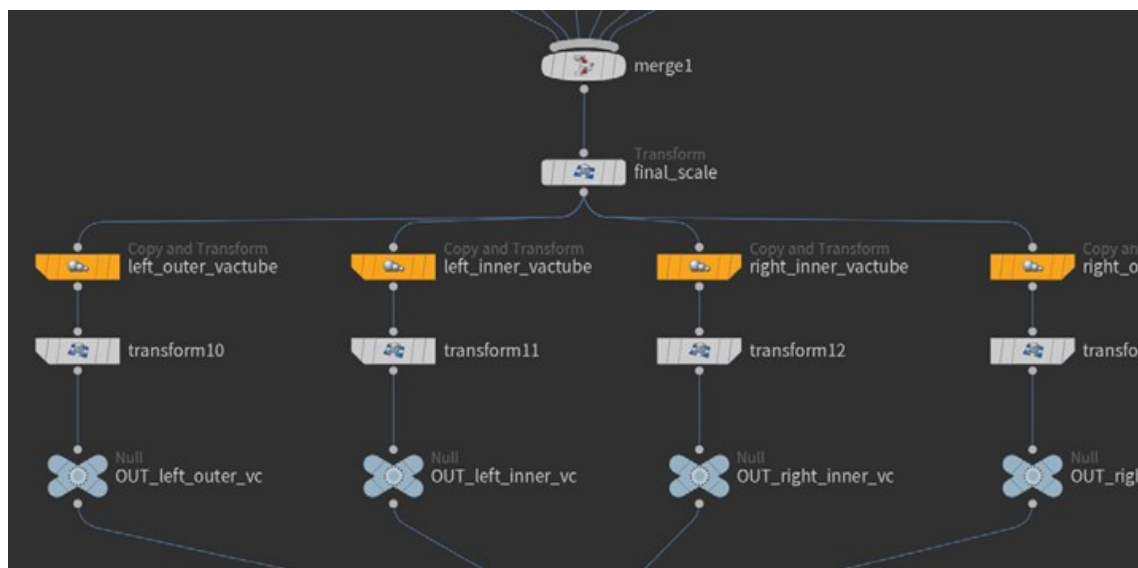


Kuva 17 Geometry Node Editor ja noodipuu vasemmalla alhaalla, Geometry Node Modifier ja sen käyttöliittymä oikealla. Vasemmalla ylhäällä näkyy työkalulla tehty työ. (Blender 3.6 Manual i.a.)

#### 4.3.2 Houdini-ohjelman proseduraalisuus

Houdini-ohjelman käyttöliittymä eroaa Blender-ohjelmasta. Kun Houdinilla luoda mitään vain, se rakentaa taustalla automaattisesti noodiverkostoa, joka tarkoittaa samaa kuin noodipuu. Kun halutaan lähteä luomaan 3D-mallia tekevää proseduraalista työkalua, työskentelytilaan (Object Context level, Obj) luodaan Geometry-noodi, jonka sisälle luodaan haluttu primitiivinoodi. Ensimmäisiä noodeja voi olla vaikka esimerkiksi viiva (line) tai kuutio (cube). Sen jälkeen käytetään haluttuja noodeja kohti lopputulosta. (Magee 2022, 2.)

Ohessa kuva 18, jossa on esimerkki, miten Houdini-ohjelmaan noodiverkosto rakentuu.



Kuva 18 Kuva Houdini-ohjelman noodiverkosta. (Magee 2022, 2.)

Houdini-ohjelman nimeämiskäytäntö poikkeaa hieman Blender- ja Maya-ohjelmistojen maailmasta, tahko kulkee nimellä primitive. Houdini-ohjelmassa verkoksi on piste (point). Särmän (edge) valinta tapahtuu eri tavalla, esimerkiksi kirjoittamalla p1-p2, ensimmäisestä pisteestä toiseen pisteeseen. Jokaisella pisteellä on oma numero, jonka saa ohjelmassa näkyviin. Työskentely tapahtuu proseduraalisia malleja tehtäessä Network editor -työtilassa, johon rakennetaan noodiverkosto. View-näkymä näyttää noodiverkostosta muodostuvan visuaalisen näkymän. Kun valitsee manuaalisesti osia View-näkymässä, saattaa proseduraalisuus kärsiä. Tästä syystä manuaalista valintaa tulee käyttää harkiten.

Houdini-ohjelma vaatii noodien lisäksi myös skriptien kirjoittamista (scripting), eli koodin kirjoittamista. Artistit selviävät yleensä käyttäen Hscript-ilmaisuja (expressions). Tekninen artisti yleensä käyttää enemmän aikaa vaativampaan ohjelmoimiseen. Houdini-ohjelma tukee Hscript-, Python- ja VEX-ohjelmointikieliä. VEX-koodin voi kiertää luomalla Attribute VOP -noodin, menemällä sen sisään ja käyttämällä noodipohjaista käyttöliittymää. (Magee 2022, 40.)

Noodiverkostoja rakentamalla pystyy luomaan monipuolisia työkaluja. Noodiverkosto pakataan Subnetwork-noodiin ja siitä tallennetaan Houdini Digital Asset-tiedosto (HDA). Tiedostoja pystyy helposti siirtämään käyttäjältä toiselle ja

avaamaan myös muissa ohjelmissa käyttäen Houdini Engine -lisäosaa, joka mahdollistaa mallien muokkaamisen myöhemmissä työvaiheissa. Kun useampi artisti lataa Subnetwork-noodin työpöydälleen, se referoi HDA-tiedostoa. Kun alkuperäistä tiedostoa päivitetään, se päivittyy automaattisesti referensseihin. (Magee 2022, 3.)

## 4.4 Proseduraalisten työkalujen vienti muihin sovelluksiin

Kun haluaa käyttää työkaluja jatkosovelluksissa, tarvitaan lisäosia, joiden kautta työkalujen parametreja voi käyttää. Luvussa 4.4.1 kerron löytämistäni lisäosista Blender-ohjelmaan. Luvussa 4.4.2 kerron SideFX-yhtiön luomasta lisäosasta Houdini-ohjelmalle.

### 4.4.1 Blender-ohjelman BEngine-lisäosa ja Altermesh-lisäosa

Unity-pelimoottoriin Mifth-nimimerkkiä käyttävä henkilö on tehnyt lisäosan nimeltä BEngine, joka on julkaistu 2022. Sillä voi käyttää Blender Geometry Nodes -työkaluja Unity-pelimoottoriin. BEngine tukee Unityn 2019 versiota ja siitä eteenpäin luotuja versioita. (Blender market 2022.)

InspirationTuts on tehnyt YouTube-kanavalleen kattavan tutoriaalivideon, miten BEngine-lisäosaa käytetään. Siinä kerrotaan, että BEngine-tiedosto kopioidaan Unity-projektiin ja projektin asetuksista asetetaan BEngine-kohdasta oikea tiedostopolku Blender-ohjelmalle, jota käytetään. Kun työkalu on valmis, se täytyy tallentaa Unity-projektiin, jotta sitä voi jatkokäyttää siellä. Kun luodaan Empty-objekti, johon lisätään BEngine-komponentti, ja kun siihen lisätään Blender-tiedosto, johon on tallennettu Geometry Nodes, lisäosa luo JSON-tiedoston, joka sisältää Input-arvot. (InspirationTuts 2022.)

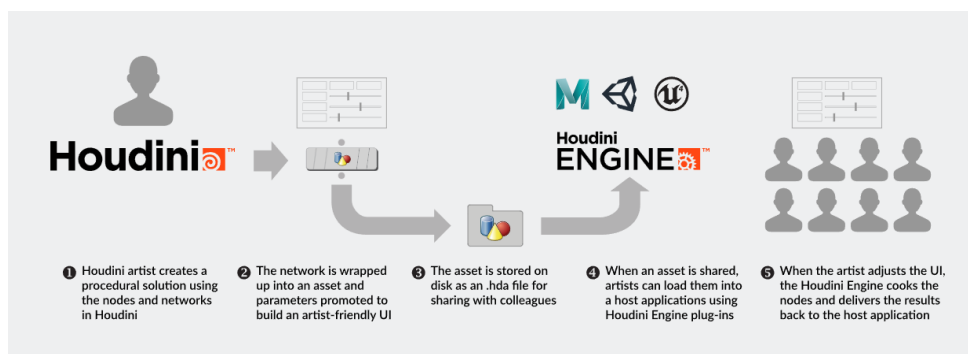
Unreal Engine -pelimoottoriin on tehty lisäosa nimeltä AlterMesh. Sillä voi käyttää Geometry Nodes -työkaluja. Myös blueprint-noodeja voi käyttää Geometry Nodes -työkalussa. (Altermesh i.a.)

Gamefromscratch-YouTube-kanavalla on tutoriaali, miten lisäosaa käytetään Unreal Engine -pelimoottorissa. Siinä kerrotaan, miten tiedosto asennetaan Unreal Engine 4 -ohjelmaan. Tämän lisäksi lisäosassa on tutoriaali, joka ohjeistaa sen käytön. (Gamefromscratch 2021.)

#### 4.4.2 Houdini-ohjelman Houdini Engine -lisäosa

Houdini Engine on SideFX:n luoma lisäosa, jonka voi asentaa Unreal Engine- ja Unity-pelimoottoriin sekä Autodesk Maya- ja 3ds Max- ohjelmiin. Sitä käytetään nopeuttamaan työnkulkua Houdini-ohjelman ja jatkosovelluksen välillä. (Unreal Engine 2021.)

Kuvassa 19 näkyy työnkulku. Ensinnäkin Houdinissa luodaan proseduraalinen työkalu, josta luotu HDA-tiedosto jaetaan eteenpäin. Houdini Engineä käyttäen HDA:n mukana tulee työkalun käyttöliittymä ja sitä voi muokata pelimoottorissa tai toisessa 3D-ohjelmassa. (Unreal Engine 2021.)



Kuva 19 Havainnekuva Houdini Engine -lisäosan käytöstä tuotannossa. (SideFX Houdini i.a.)

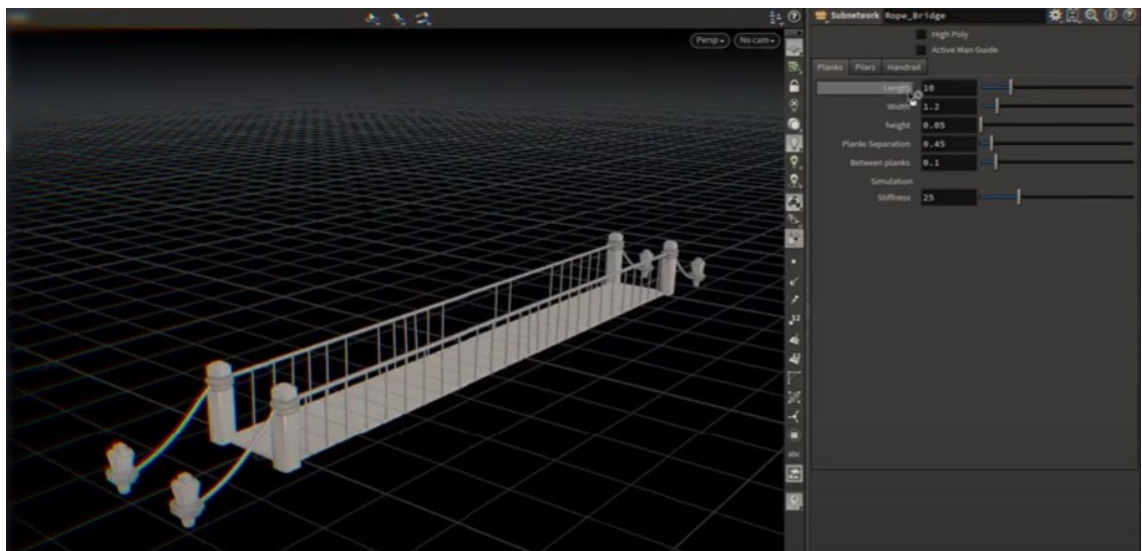
Kun Houdini Digital Asset -noodin käyttöliittymän parametreja muokataan, Houdini Engine käy läpi sen sisältämän noodiverkoston ja näyttää lopputuloksen isäntäsovelluksessa. Täten proseduraalisuus eli jatkumuokattavuus pysyy ja muokausvaiheessa voi palata takaisin lähtöpisteeseen. Luodut tuotokset pitää tallentaa (bake) ennen sisällön julkaisua (build). Houdini Engine ei toimi reaaliaikaisesti. (Unreal Engine 2021.)

#### 4.5 Miten proseduraalisuus eroaa manuaalisesta mallintamisesta

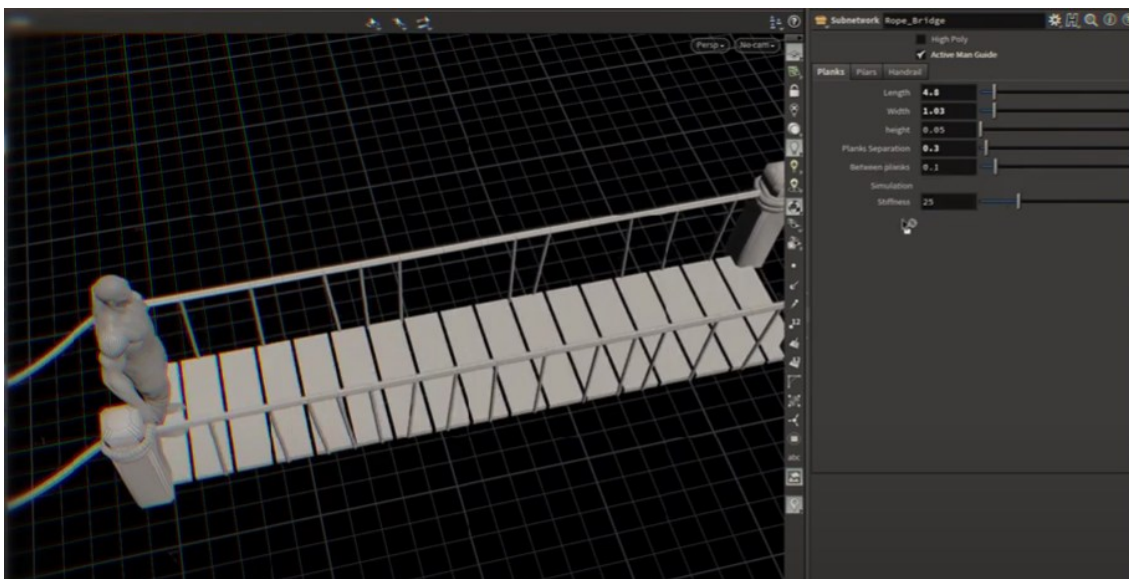
Manuaalisessa mallintamisessa mallintaja muokkaa enimmäkseen geometriaa ominaisuuksien sijaan. Näin ollen mallintaja ei ole sidottu eri ominaisuuksiin ja niiden välisiin riippuvuuksiin, joihin muutosten tekeminen saattaa vaikuttaa. (Brunelli 2022.)

Proseduraalisen työkalun tekijä keskittyy juuri näihin ominaisuuksiin ja niiden yhteen nivomiseen. Proseduraalisen sisällön luominen on algoritmien määrittämistä sisällölle, jolla on rajoitetut tai epäsuorat käyttäjän muutosoikeudet käyttöliittymässä. Proseduraalisella generoinnilla viitataan siihen, että olemme tekemisissä tietokoneen proseduurien tai algoritmien kanssa, joilla luodaan haluttu lopputulos. (Shaker, Togelius & Nelson 2016, 2.)

Proseduraalinen mallintaminen on tapa, jolla voi tehdä paljon eri variaatioita 3D-mallista muuttamalla parametreja, eikä manuaalisesti liikuttamalla verteksejä. Sen sijaan, että mallintaa yhden sillan, voi luoda työkalun, kuten Gaya Oscarin luoma työkalu kuvassa 19. Sillä voi luoda erilaisia variaatioita sillasta ja sillä voi muuttaa esimerkiksi sillan leveyttä, korkeutta ja köysien määrää. (Digital arts and entertainment i.a.)



Kuva 20 Gaya Oscarin Houdini-ohjelmalla rakennettu siltatyökalu. (Josich 2019.)



Kuva 21 Muokattu siltatyökalun lautojen leveyttä, sillan pituutta ja köysien määrää. (Josich 2019.)

## 5 Projektina proseduraalinen porrastyökalu

Seuraavaksi esittelen opinnäytetyötä varten tekemääni proseduraalista porrastyökalua, jonka avulla yritin selvittää proseduraalisuuden hyviä ja huonoja puolia Houdini-ohjelmalla työskenneltäessä. Rajallisen ajan takia halusin valita yksinkertaisia muotoja sisältävän mallin, joten näin päädyin portaisiin. Toteutukseen käytin SideFX Houdini Apprentice -ohjelmaversiota, joka on ilmainen ja ei-kaukalliseen käyttöön (Non-Commercial Edition). Projektia käydessäni läpi oletan, että lukija tietää jo, miten Houdini-ohjelman käyttöliittymä toimii ja perusasioita 3D-mallintamisesta.

Projektin alussa lähdin tutkimaan eri toteutustapoja. Niitä on monia, eikä ole yhtä oikeaa tapaa toteuttaa työkalua. Sen takia on hyvä katsoa muiden tekemiä työkaluja, koska aina voi oppia uusia ja nopeampia toimintatapoja. Löysin videotallenteen, jossa tehdään proseduraaliset kierreportaat. (Gazdar 2023.)

Gazdar näyttää miten käyttää Null-noodia haluttujen parametrien tallentamiseen projektin edetessä. Geometry-noodin sisään luodaan Null-noodi, joka nimetään

Controller-nimellä ja siihen tallennetaan työn edetessä halutut parametrit. (Gazdar 2023.) Tämä oli mielestäni erittäin hyvä käytäntö.

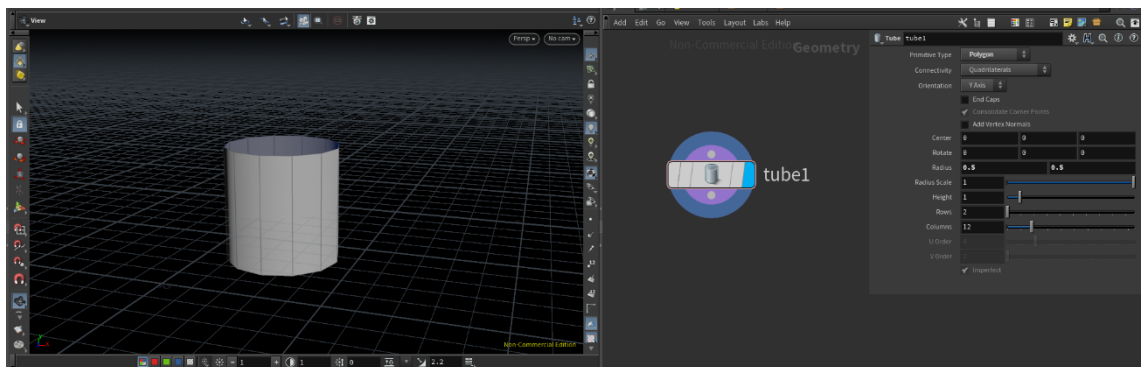
Ensimmäisessä aluvuossa käyn läpi, miten olen rakentanut noodiverkoston kolmelle erilaiselle portaikolle. Luvussa 5.1.1 käyn tarkemmin läpi noodeja, joilla luodaan kierreportaat. Luvussa 5.1.2 käyn läpi portaikon, jossa askelman kelluu ilmassa. Luvussa 5.1.3 kerron kiinteäpohjaisesta portaikosta. Toisessa aluvuossa kerron käyttöliittymän teosta.

## 5.1 Toteutus

### 5.1.1 Kierreportaat

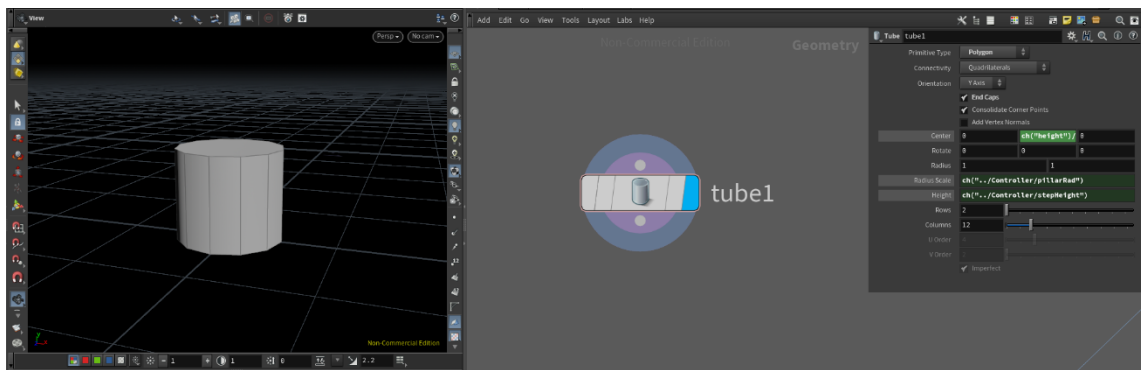
Projektin voi purkaa kolmeen eri osioon: portaat, kaide ja kaiteen yksityiskohdat. Näissä täytyy miettiä, minkä noodin tietoja tarvitsee kopioida toiseen noodiin Hscript-koodin avulla, jotta saa 3D-mallin pysymään proseduraalisena ja ehjänä.

Ensimmäisenä luodaan portaat. Controller-nimiseen noodiin luodaan haluttuja parametreja, joilla voi muokata valmista mallia. Kuten Step Length, Angle ja Height sekä Number Of Steps ja Center Pillar Radius. Tämä onnistuu Parameter Dialog -ikkunan hammasrattaasta valitsemalla Edit Parameter Interface...-kohdasta. Sitten luodaan ensimmäinen primitiivi noodin, joka on sylinteri (Tube-noodi), näkyy kuvassa 22.



Kuva 22 Sylinterinoodi ilman muokkauksia Houdini-ohjelman käyttöliittymässä.

Jotta Controller-noodin parametrit saadaan toimimaan, siitä kopioidaan Center Pillar Radius -parametri klikkaamalla sitä hiiren oikealla ja valitsemalla Copy Parameter. Tämän jälkeen mennään takaisin Tube-noodiin ja liitetään se sylinterin Radius Scale -kohtaan hiiren oikealla ja valitsemalla Paste Relative Reference. Tämä luo automaattisesti Hscript-koodin, joka näyttää tältä: `ch("../Controller/pillarRad")`. Näin niiden välille muodostuu yhteys, joka näkyy kuvassa 23 vihreänä. Kun keskipylvään paksuutta muuttaa Controller-noodin parametrilla, se vaikuttaa sylinterinoodin säteen kokoon.

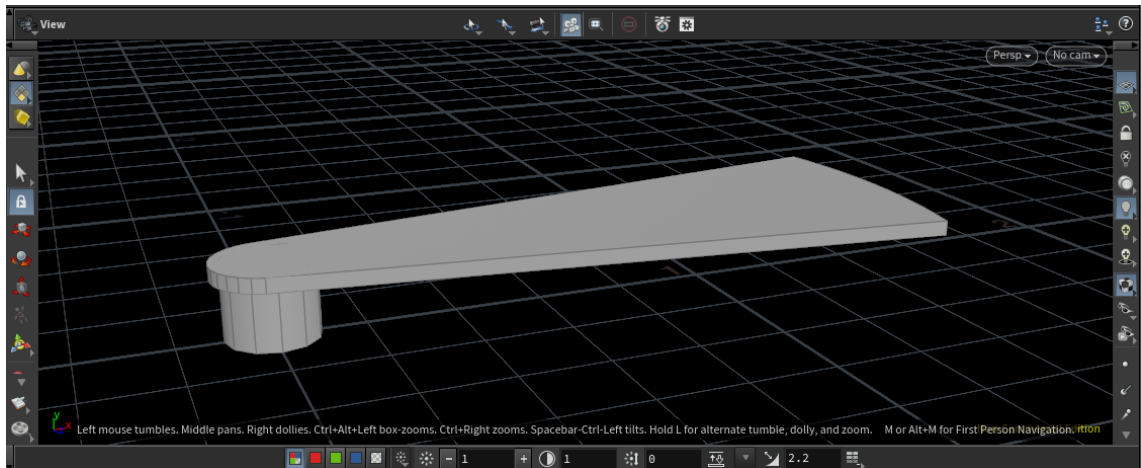


Kuva 23 Sylinterinoodi muokkausten jälkeen Houdini-ohjelman käyttöliittymässä.

Askelma luodaan käyttäen kahta Circle-noodia, joita muokataan poistamalla pisteiden sisään muodostunut tahko niin, että jäljelle jäävät vain tarvittavat pisteet askelman päätyihin. Ne yhdistetään Merge-noodilla. Sen jälkeen lisätään Add-noodi, jolla luodaan kahden eri Circle-noodin pisteiden välille tahko. Sen jälkeen lisätään Reverse-noodi, jolla tahkon pinta käännetään ympäri, jotta se osoittaa positiiviseen suuntaan, koska seuraavalla PolyExtrude-noodilla purotetaan askelmalle paksuutta ja luodaan alapinta. Siihen kopioidaan Controller-noodista arvot Step Height -kohdasta, lisätään ne PolyExtrude-noodin Distance-kohtaan ja jaetaan viidellä, joka on silmämääräinen arvo. Näin ollen Controller-noodin korkeuden arvon ollessa 0,17 metriä, keskipylväs on 17 senttimetriä korkea ja porras on 17 cm jaettuna viidellä eli 3,4 cm korkea. Tämän jälkeen porras pitää siirtää Transform-noodia käyttäen Y-akselilla Step Height -korkeudelle. Kopioidaan Step Height, lisätään se Translate Y-kohtaan ja vähennetään

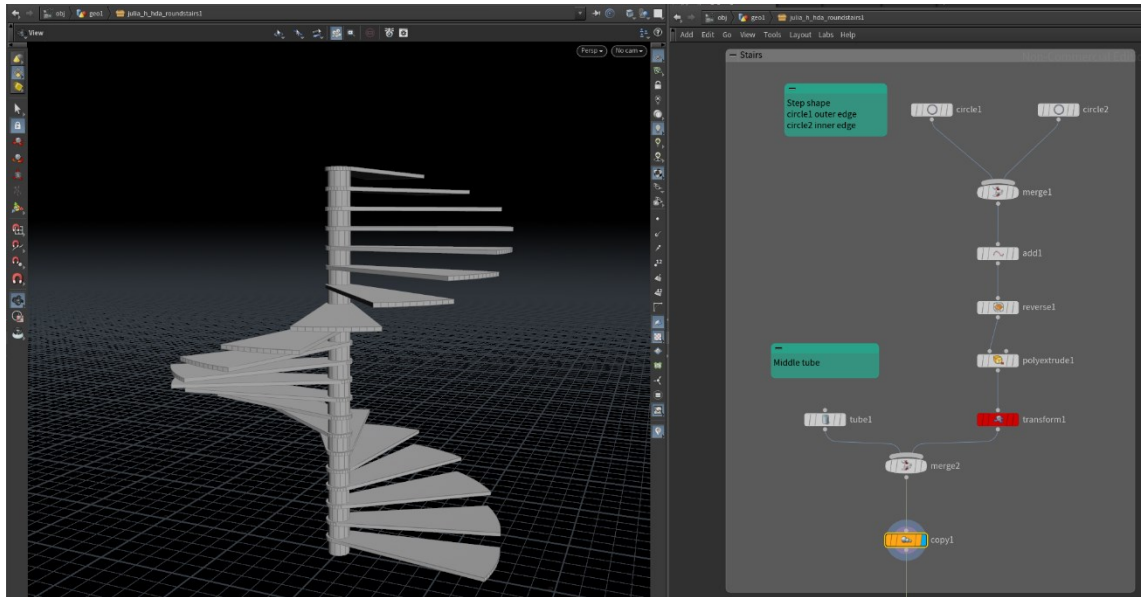
siitä portaan PolyExtrude-noodin Distance-parametri. Hscript näyttää tältä:  
`ch("../Controller/stepHeight") - ch("../polyextrude1/dist")`.

Seuraava askel on yhdistää nämä kaksi muotoa yhteen käyttäen Merge-noodia, jotta Houdini osaa näyttää molemmat muodot yhdessä View-näkymässä. Tämä näkyy kuvassa 24 vasemmalla puolella.



Kuva 24 Kierreportaan ensimmäisen askelman 3D-malli View-näkymässä.

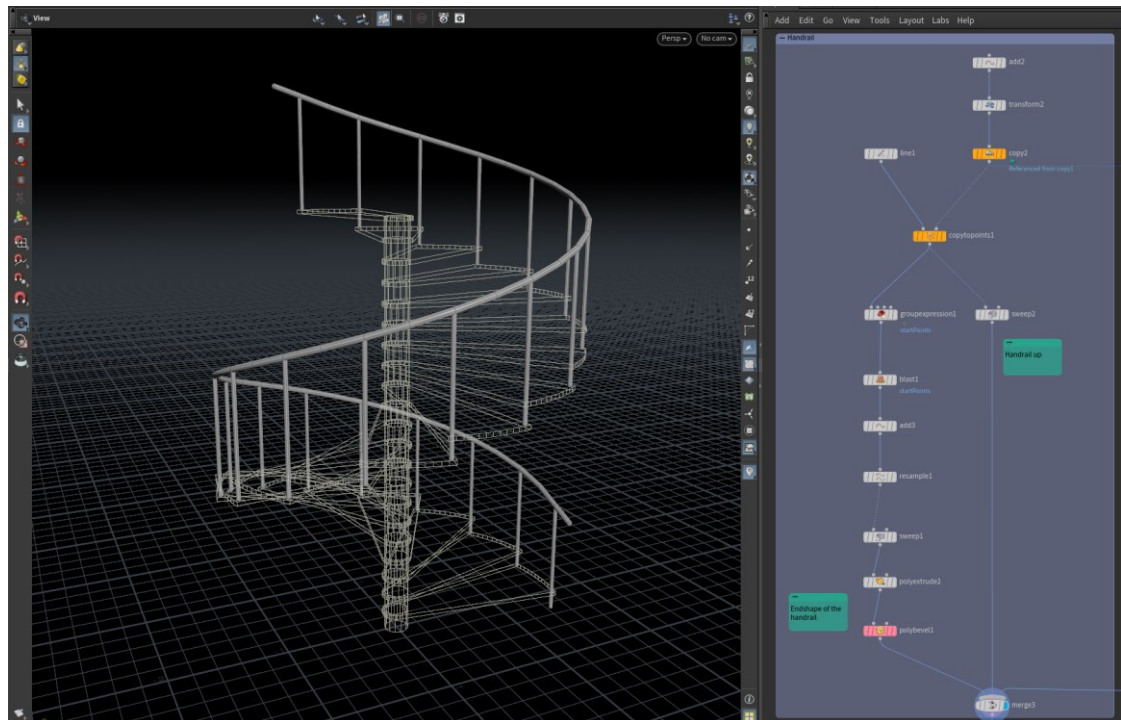
Jotta askelmia saa lisää, toteutetaan se luomalla Copy-noodi. Siihen kopioidaan Step Height -kohta, jotta ohjelma tietää asettaa kopion ensimmäisen askelman päälle. Controller-noodista kopioidaan myös No. Of Steps -parametri ja liitetään Copy-noodin Total Number -kohtaan. Step Angle -parametri määrittää, ettei askelmat ole päällekkäin. Rotate Y -kohtaan kopioidaan Controller-noodiin asetetun Step Angle ja siitä vähennetään sama Step Angle jaettuna kymmenellä. Kymmenen on silmämääräinen luku. Näin ollen aina seuraava askel kaartuu Y-akselilla yhden askelman verran, joka on jaettu kymmenellä. Nyt Controller-noodista voi No. Of Steps -parametrilla. määrittää, kuinka monta askelmaa portaikossa on.



Kuva 25 Kierreportaiden askelmien 3D-malli vasemmalla 3D-malli View-näky-  
mässä. Oikealla portaiden noodiverkosto.

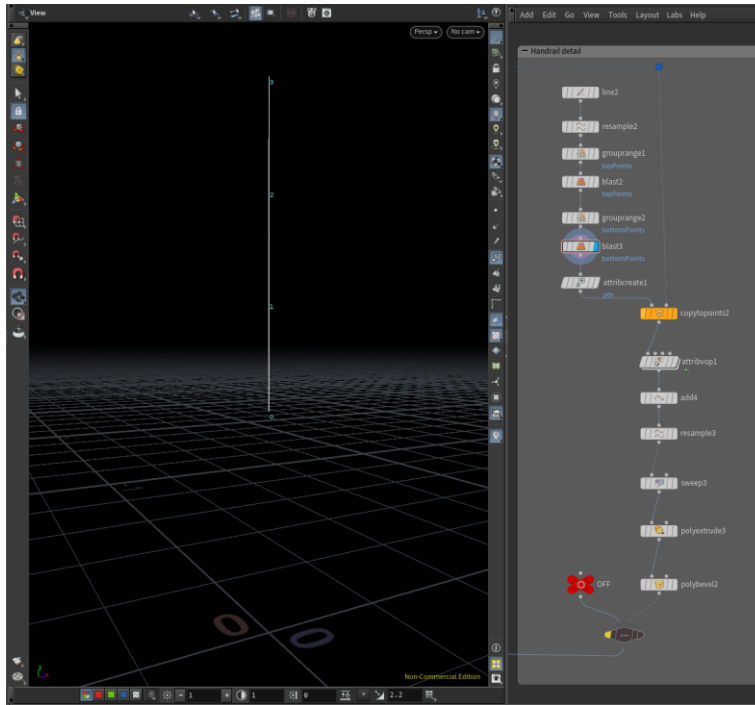
Kuvassa 25 näkyy, mikä on tähän mennessä saadun työprosessin lopputulos. Jotta pysyy paremmin perillä omasta työstään, voi lisätä muistilappuja (Sticky Note) ja kirjoittaa niihin muistiinpanoja, jotka näkyvät noodiverkon vieressä vihreinä laatikoina. Halutut noodit voi myös pistää omaan laatikkoon (Network Box) joka helpottaa noodien siirtelyä, ja laatikoiden nimeäminen helpottaa myös verkoston selkeyttä.

Seuraava vaihe on luoda kaide, joka näkyy kuvassa 26. Ensimmäisenä tehdään piste Add-noodilla, jolla määritetään kaiteen pystytangon paikka. Sen jälkeen lisätään Line-noodi, joka kopioidaan pisteellä määritettyihin paikkoihin käyttäen copy to Point -noodia. Tästä noodista haaraantuu kaksi suuntaa, joista toisessa määritetään Sweep-noodilla muoto pystytangolle ja toisessa luodaan kaiteeseen yläosa kädensijalle. Valitakseen pystytangoista niiden ylimmän pisteen sijainnin tulee luoda Group Expression -noodi, jolla valitaan pystytankoviivojen ensimmäiset pisteet. Sen jälkeen luodaan Blast-noodi, jolla poistetaan ne. Näin ollen ketjuun jää vain pystytankojen ylimmät pisteet, joita voi käyttää muodostamaan kädensija.



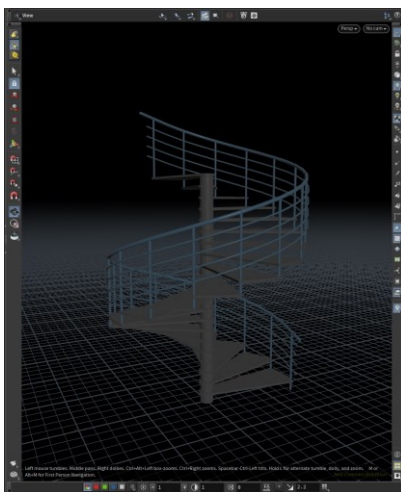
Kuva 26 Kierreportaiden kaiteen 3D-malli vasemmalla View-näkymässä. Oikealla kaiteiden noodiverkosto.

Kaiteen yksityiskohdat luodaan käyttäen Line-noodia. Sen korkeus pitää olla sama kuin kaiteen. Sitä muokataan niin, että ylin ja alin piste poistetaan, ja niiden välille voi muodostaa pisteitä, jotka määrittävät yksityiskohtien paikat, näkyy kuvassa 27. Controller-noodiin lisätään parametri, jossa voi muokata yksityiskohtien määrää (No. Of Bars). Kun tämä on valmis, se kopioidaan samojen pisteiden paikalle, jotka määrittävät pystytankojen paikan.



Kuva 27 Vasemmalla kaiteen yksityiskohdan särmä, josta on poistettu ylin ja alin piste. Oikealla noodit joilla on rakennettu kaiteen yksityiskohdat.

Näin saadaan noodiketjuun tiedot pisteiden sijainnista, joiden välille luodaan Sweep-noodilla visuaalinen muoto, joka kopioi kädensijan kokoa jaettuna kahdella. Kaide ja yksityiskohta yhdistetään noodiverkossa Merge-noodilla, jonka jälkeen se yhdistetään portaiden kanssa. Näin saadaan keskypylvään, askelmien ja kaiteen kokonaisuus yhteen, joka näkyy kuvassa 28.



Kuva 28 Kierreportaiden keskipylyvään, askelmien ja kaiteen 3D-malli.



Kuva 29 Kierreportaiden noodiverkko.

Kuvassa 29 näkyy kierreportaiden portaiden noodiverkko. Noodiverkko on hyvä aina päättää lopetus noodiin. Minulle on opetettu käyttämään Null-noodia, joka nimetään aina OUT\_-alulla. Näin ollen koko noodiverkkoon pystyy referoimaan myöhemmissä vaiheissa helpommin, jos sitä tarvitaan jossain muussa noodissa.

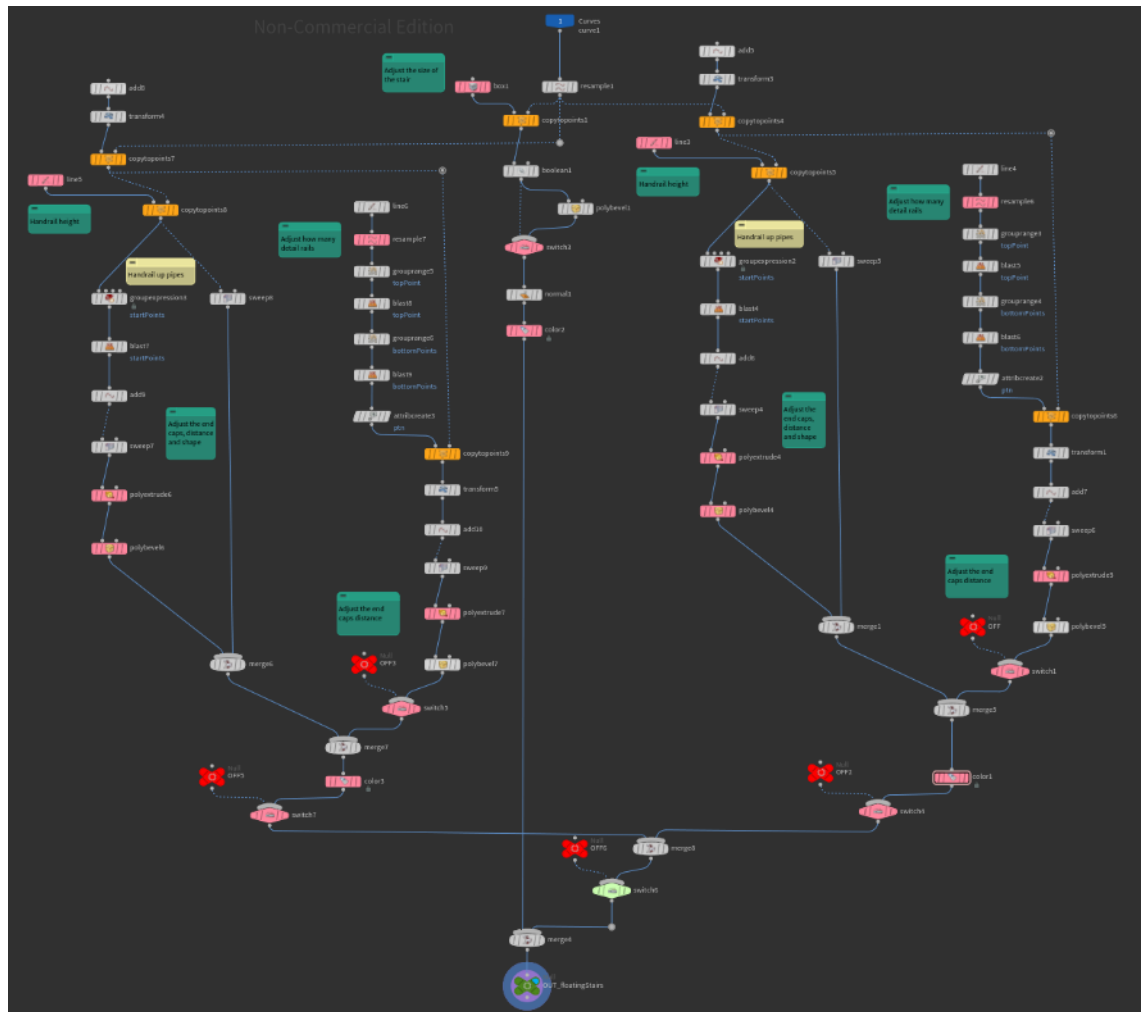
### 5.1.2 Kelluvat portaat

Kelluvien portaiden linja määritetään käyttäen käyrää (curve-noodi). Itse askelma on box-noodi, jonka reunoja pehmennetään PolyBevel-noodilla. Tämän jälkeen rakensin siihen kaidenoodiverkoston. Toistin jo oppimiani toimintatapoja. Jotta saisin pystykaiteen määrittävän pisteen sijaintitiedon oikeaan kohtaan, tein Transform-noodin, jonka laitoin käyttämään Box-noodin korkeutta ja leveyttä. Tämän jälkeen käytin Copy to Points -noodia, jolla kopioin sen käyttämään käyrän muotoa.

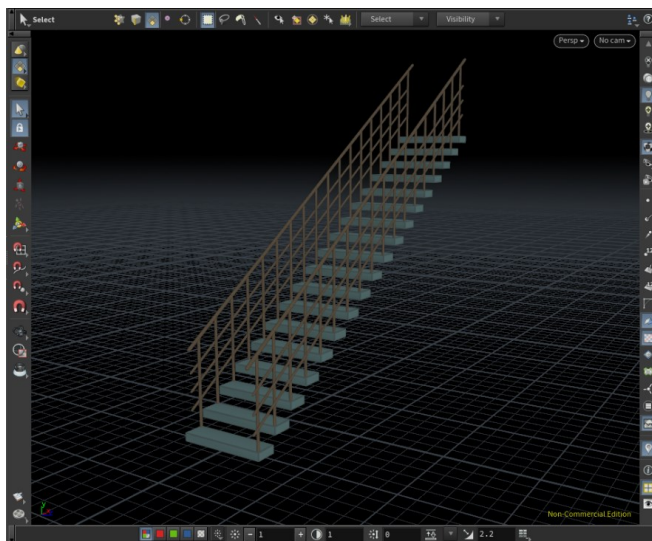
Halusin myös kaiteen portaikon vasemmalle puolelle. Kokeilin tähän Mirror-noodia noodiketjun lopussa, mutta se ei toiminut haluamallani tavalla. Jos portaat kasvaisivat vain korkeutta suoraan eteenpäin, se olisi toiminut. Jos käyrää liikkutti portaita katsoen oikealle tai vasemmalle, kaiteiden yläpää liikkui vastakkaiseen suuntaan. Uusia noodeja lisätessä on hyvä testata, että proseduraalisuus pysyy jatkuvana.

Ratkaisin ongelman kopioimalla kaiteen noodiverkoston ja liittämällä sen uudelleen verkostoon. Muutin tässä kohtaa myös Attribute VOP -noodin transformnoodiksi, jolla sain siirrettyä kaiteiden yksityiskohdat pois pystykaiteen sisästä. Vasemman puolen Hscript piti muuttaa negatiiviseksi, jotta se oli vasemmalla puolella pystytankoa.

Noodiverkoston lopputulos näkyy kuvassa 30. Keskellä näkyy noodiverkosto, joka muodostaa askelmat. Siitä haarautuu oikealle puolelle oikea kaide ja vasemmalle vasen kaide. Kuvassa 31 näkyy yksi versio, jonka voi luoda työkalulla, joka käy tämän noodiverkoston läpi.



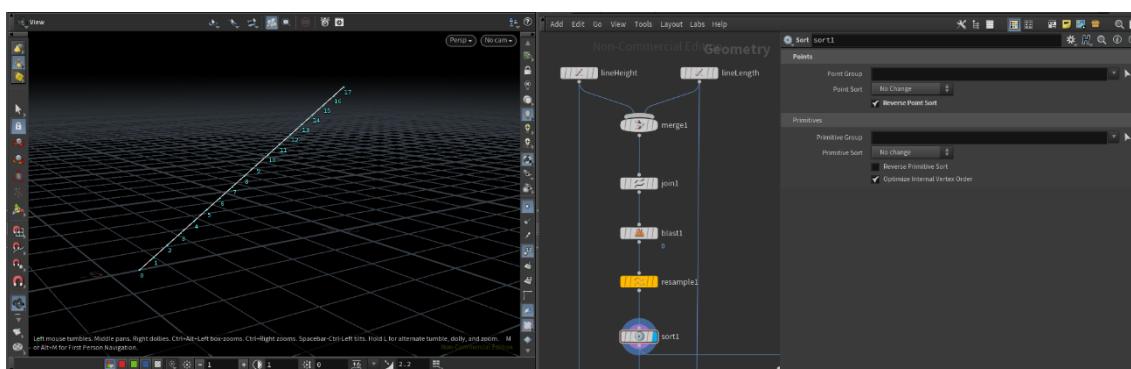
Kuva 30 Kelluvien portainen noodiverkosto Houdini-ohjelmassa.



Kuva 31 Kelluvien portaiden 3D-malli.

### 5.1.3 Portaat kiinteällä pohjalla

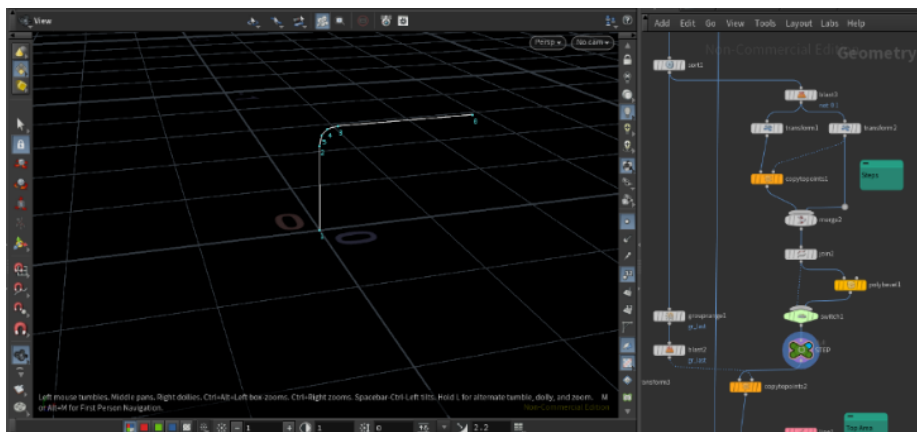
Portaikko on aloitettu käyttäen Line-noodeja. Toisella on määritetty portaikon korkeus ja toisella pituus. Noodilinjat yhdistetään Merge-noodilla ja muodot yhdistetään Join-noodilla. Tämän jälkeen on Blast-noodilla poistettu 0-piste, jonka jälkeen p1 ja p2 yhdistyvät särmällä ja lopputulokseksi jää p0 ja p1. Tämän jälkeen määritetään portaille pisteet Resample-noodilla, jossa muokataan Maximum Segments -kohtaa. Pisteiden numerot käännetään ympäri Sort-noodilla. Työnäkymä näytetään kuvassa 32.



Kuva 32 View-näkymässä p0 - p17, keskellä noodit, joilla tämä on luotu ja oikealla Sort-noodin parametrit.

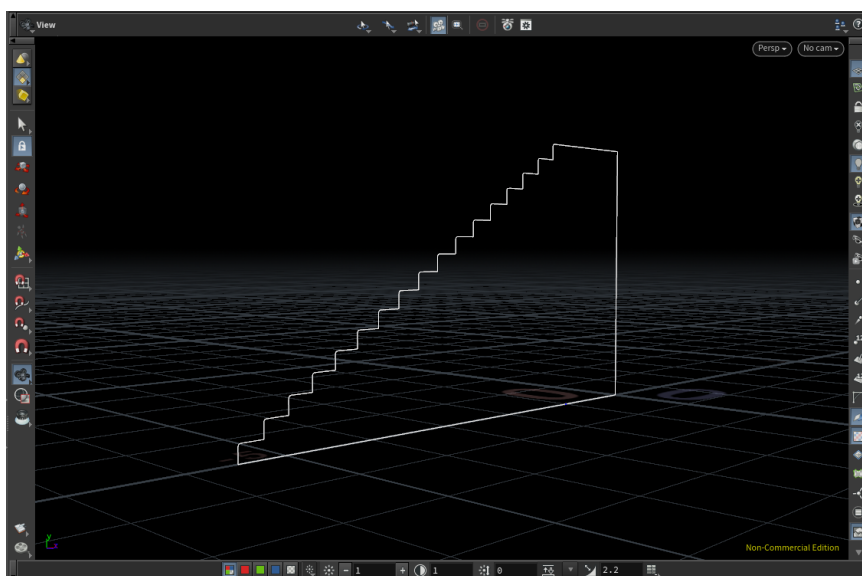
Tämän jälkeen luodaan askelma. Se haaraantuu Sort-noodista ja siitä erotellaan p0-p1. Ne muokataan vaaka- ja pystyasentoon Transform-noodeilla, myös askelman pituuden paikka muutetaan. Vaakapisteiden paikka kopioidaan pystypisteen p1-korkeuteen, jonka jälkeen muodot yhdistetään. Tähän kohtaan lisätään myös vaihtoehto portaan askelman pehmennykselle PolyBevel-noodilla.

Työnäkymä näytetään kuvassa 33.



Kuva 33 View-näkymässä askelman muoto, keskellä noodiverkko.

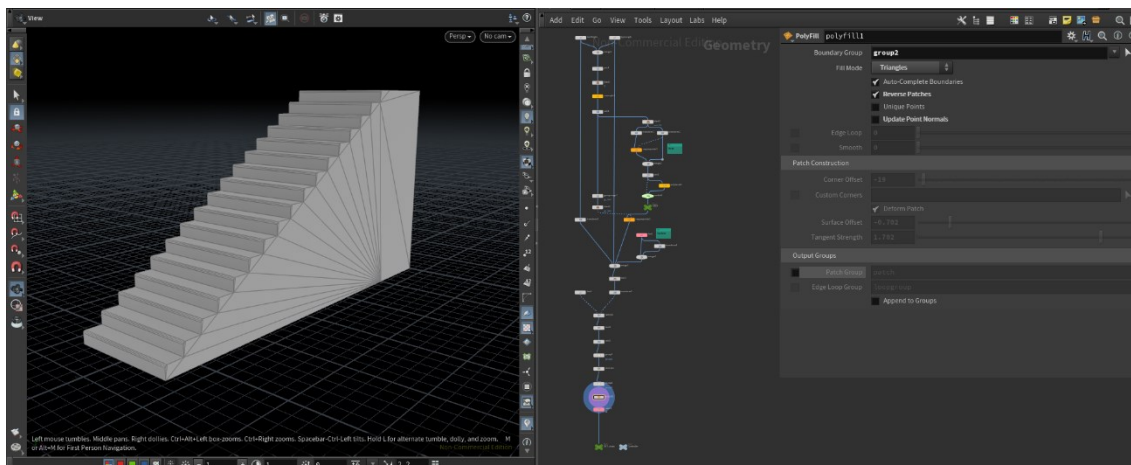
Seuraavaksi yhdistetään askelmien määritys pisteet ja askelma yhteen. Tämä muoto yhdistetään alussa luotujen Line-noodien kanssa yhteen. Luodaan yläaskelmalle jatkopala, jos sitä tarvitsee oven tai jonkin muun eteen. Se tehdään Line- ja Transform-noodilla.



Kuva 34 Portaiden profiili.

Tässä kohtaa on vasta portaiden sivuprofiili luotu (ks. kuva 34). Jotta sille saadaan leveyttä, luodaan Line-noodi, jota pitkin pyyhitään muoto Sweep-noodilla. Tämän jälkeen täytyy siistiä päällekkäiset pisteet Fuse-noodilla ja järjestää uudestaan, jotta voidaan korjata väärään suuntaan osoittavat tahkot. Luodaan

ryhmä tahkoille, jotka jo osoittavat oikeaan suuntaan ja sen jälkeen käännetään loput Reverse-noodilla. Nyt portaat suljetaan sivulta, jotta ne eivät ole tyhjä. Tähän käytetään PolyFill-noodia. Siinä myös määritetään miten tahkot muodostuvat. Tässä tapauksessa parhaiten toimi kolmiot, josta kuva 35. Siinä näkyy myös valmis portaikko.



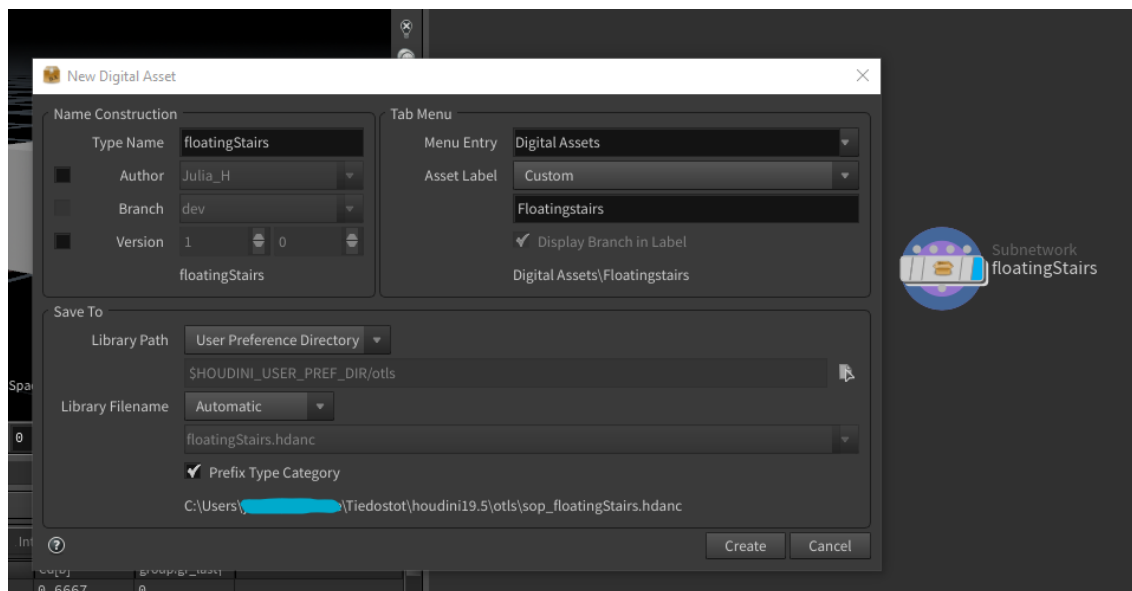
Kuva 35 View-näkymässä näkyy portaiden 3D-malli ja sen polygoniverkko, keskellä noodiverkosto ja oikealla PolyFill-noodin parametrit.

## 5.2 HDA, käyttöliittymä ja työkalun käyttö

Kun noodiverkon haluaa jakaa muille käyttäjille ja tallentaa jatkokäytettäväksi Houdini Digital Asset -tiedostoksi (HDA), noodiverkosta luodaan ensin Subnetwork-noodi ja tämän jälkeen se tallennetaan HDA-tiedostoksi. Subnetwork-noodin toteutukseen on kaksi eri tapaa. Ensimmäinen on aloittaa koko projekti luomalla Subnetwork-noodi ja rakentaa työkalu sen sisään. Toinen tapa, jota itse käytän, on pakata noodit vasta myöhemmin. Kun näin haluaa tehdä, valitaan kaikki halutut noodit ja klikataan laatikkoikonia (Create subnet from selected) tai Ctrl+C.

Tässä projektissa pakattiin jokainen porraskomponentti omaksi Subnetwork-noodiksi ja luotiin niistä oma HDA. Ensimmäinen valitaan halutut noodit ja klikataan laatikkoikonia tai Shift+C. Tämän jälkeen luotua noodia klikataan hiiren oikealla ja valitaan Digital Asset ja Create New. Kuvassa 36 näkyy ponnahtusikkuna, joka aukeaa. Siinä

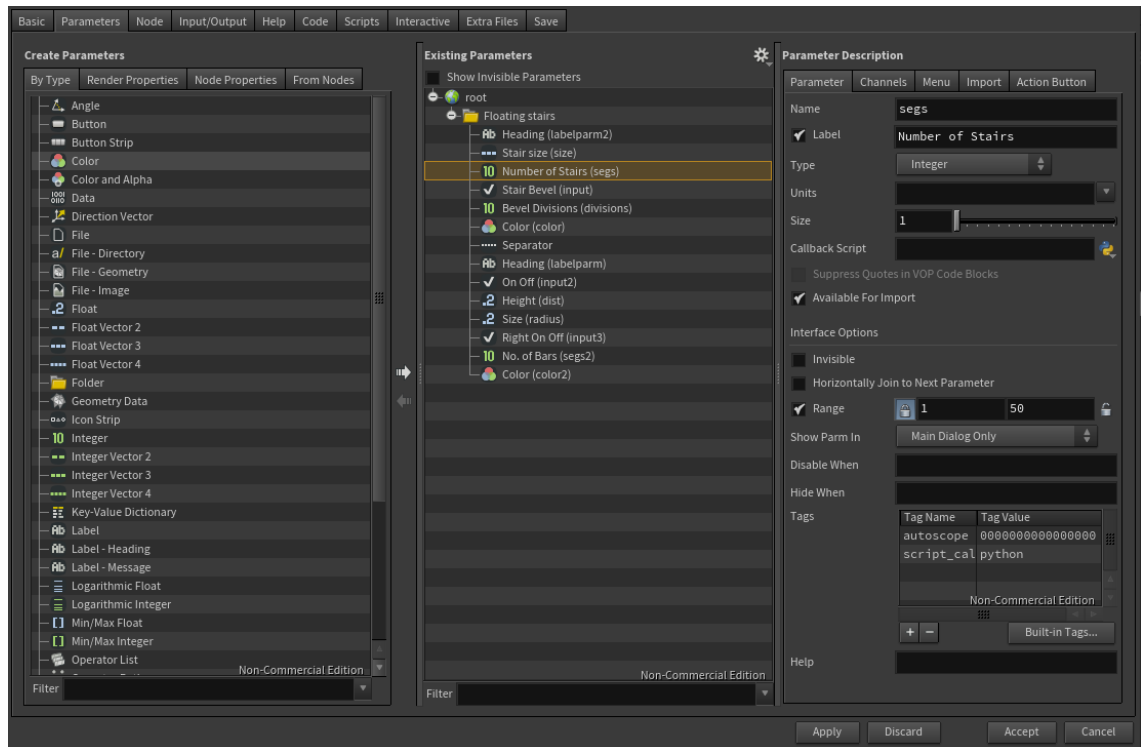
valitaan nimeämistyyli (Name Construction), mihin työkalu tallentuu Houdini-ohjelman Tab-valikossa ja mihin osoitteeseen HDA-tiedosto tallennetaan. Jotta ohjelma osaa löytää työkalut, ne yleensä tallennetaan Houdini-ohjelman otlkansioon.



Kuva 36 Uuden HDA-tiedoston ja Digital Asset -työkalun luonti, kuvassa ponnahdusikkuna, jolla tämä toteutetaan.

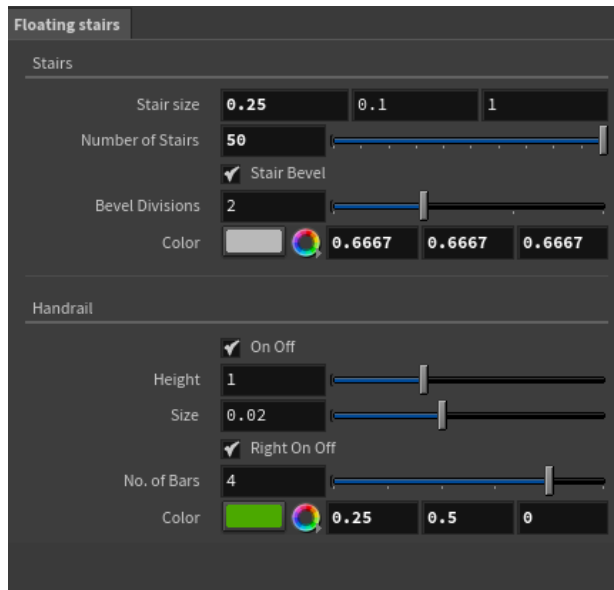
Tämän jälkeen, kun se on luotu, aukeaa uusi ikkuna (Edit Operator Type Properties). Basic-välilehdellä voi valita kuinka monta sisääntuloa (Input) ja ulostuloa (Output) luodulla Subnetwork-noodilla on. Parameters-välilehdellä luodaan työkalulle käyttöliittymä, joka näkyy kuvassa 36. Siinä toteutustapoja on monia. Omasta kokemuksesta paras on raahata halutut parametrit suoraan Existing Parameters -taulukkoon ja muokkata tämän jälkeen vasta parametrin nimeä, tyyppiä ja arvoja.

Kuvassa 37 näkyy jo luotuja parametreja kelluvat portaat -työkalulle. Valittuna on parametri, jolla määritetään askelmien määrä. Työkalun sisällä, heti Curve-noodin alla olevasta Resample1-noodista on valittu Segments-parametri ja se on raahattu Existing Parameters -taulukkoon. Tällä Segments-parametrilla on lisätty käyrään pisteitä, jonka kohdalle määritettiin askelmat.



Kuva 37 Käyttöliittymän rakentaminen Edit Operator Type Properties -ikkunassa.

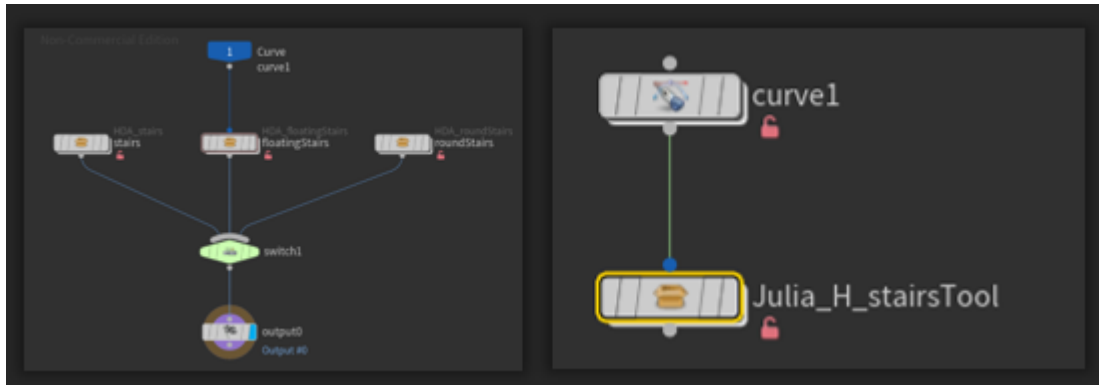
Label-kohtaan kirjoitetaan nimi, joka näkyy työkalun parametri-ikkunassa (Parameter Dialog). Type-kohdasta valitaan, millainen tyyli parametrille sopii parhaiten. Vaihtoehtoja näkyy kuvan 37 Create Parameters -taulukossa. Askelman määrän valitsemiseen parhaiten sopii Integer-tyylinen parametri. Se näkyy käyttäjälle liukuvalikkona, jossa on kokonaislukuja. Alarajaksi on määritetty yksi ja se on lukittu. Tämän ali ei voi mennä, sillä rajoitetaan käyttäjää kadottamasta portaita. Yläraja on määritetty viiteenkymmeneen, mutta sitä ei ole lukittu. Käyttäjä voi siis mennä tämän luvun yli, mutta nyt se esiintyy miellyttävämmän näköisenä käyttöliittymässä. Kaikki luodut parametrit (ks. kuva 37) näkyvät käyttäjälle Apply- ja Accept-painikkeiden painamisen jälkeen Parameter Dialog -ikkunassa (ks. kuva 38).



Kuva 38 Parameter Dialog -ikkuna, jossa on tehdyt parametrit.

Kierreportaat tallensin nimellä HDA\_roundStairs, kelluvat portaat tallensin nimellä HDA\_floatingStairs ja portaat kiinteällä pohjalla tallensin nimellä HDA\_stairs.

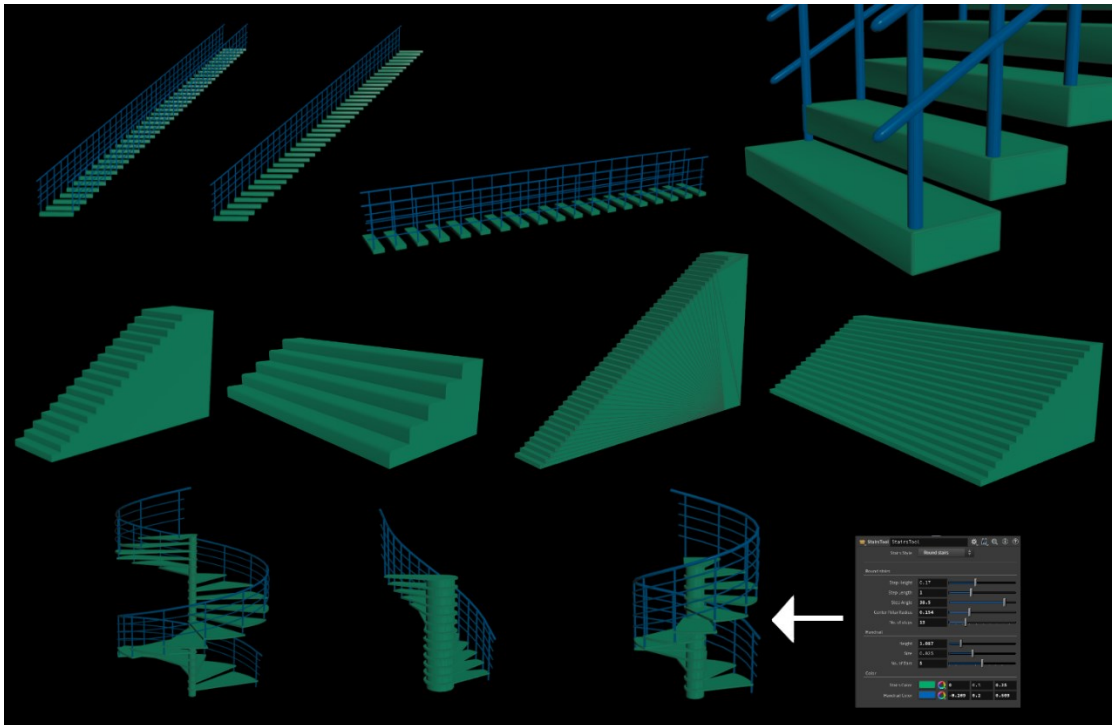
Kun jokainen porraskäytävä oli pakattu ja luotu oma käyttöliittymä, oli aika luoda näitä käyttämällä porrastyökalu. Network Editor -ikkunan Obj-tasolle luodaan Geometry-noodi, jonka sisään tuodaan kunkin Digital Asset -noodi. Hiiren oikealla klikataan tyhjäan kohtaan Network Editor -ikkunassa, josta aukeaa TAB Menu, ja sieltä valitaan Digital Asset -valikosta tallennetut portaat. Kun kaikki porraskäytävien Digital Asset -noodit ovat näkyvissä, liitetään ne yhteen Switch-noodilla, jotta työkalun parametreihin voi määrittää, mitä polkua se lukee. Tämän jälkeen valitaan kaikki noodit ja pakataan ne uudestaan Sub Network -noodiksi. Tässä kohtaa työkalulle annetaan lopullinen nimi. Annoin sille nimeksi Julia\_H\_stairsTool. Tässä työkalussa Edit Operator Type Properties -ikkunan Basic-välilehdellä jätettiin Minimum- ja Maximum-sisääntulo kohtiin 1, koska kelluvat portaat tarvitsevat Curve-noodin toimiakseen. Curve-noodi on hyvä jättää käyttäjälle näkyviin, koska se on muokattavissa. Kuvassa 39 vasemmalla puolella näkyy mitä Julia\_H\_stairsTool-noodin sisällä on ja oikealla näkyy itse työkalunoodi.



Kuva 39 Vasemmalla porrastyökalun noodiverkosto. Oikealla Curve-noodi, jonka Output-kohdasta kulkee yhteys Julia\_H\_stairsTool-porrastyökalun Input-kohtaan.

Käyttöliittymää luotaessa on hyvä miettiä, mitä siihen laittaa ja miten, jotta siitä tulee hyvä ja yhdenmukainen. Tärkeintä on, että valitut parametrit ovat käyttäjätavallisia.

Switch-noodia käyttämällä pystyy luomaan valikon, josta voi valita, mikä kolmesta eri porrastyyppistä on näkyvissä. Tämän jälkeen on tuotu portaikko kerrallaan tärkeimmät parametrit Existing Parameters -taulukkoon. Jotta käyttöliittymä pysyy selkeänä, siihen saa lisättyä esimerkiksi tyhjiä rivejä, tilanjako-viivoja ja otsikoita.



Kuva 40 StairsTool-työkalulla tehtyjä portaita. Myös yhden portaatan parametrit näkyvät kuvassa.

Kuvassa 40 näkyy 11 toisistaan eroavaa porrasta, jotka on luotu työkalua käyttämällä. Yhden kierreporrasmallin käyttöliittymä näkyy pienenä kuvassa. Opin näytetyön liitteissä 1 ja 2 on linkki kahteen videotallenteeseen. Ensimmäisessä esittelen, miten työkalua voi käyttää, ja toisessa esittelen, mistä noodiverkostot koostuvat.

## 6 Yhteenveto

### 6.1 Oma kokemus ja jatkokehitys

Työkalun rakentaminen oli hyvin opettavaista ja Houdini-ohjelmaan tutustuminen oli miellyttävää. SideFX on koonnut erittäin hyvin tietoa heidän verkkodokumentteihinsa, ja heillä on paljon tutoriaaleja omilla sivuillaan niin aloittelijoille kuin kokeneemmillekin. YouTubesta löytyy myös paljon eri tutoriaaleja. Niistä oli valtavasti apua ongelmatilanteissa: niistä löytyi helposti ja selkeästi ohjeet etenemiseen.

Porrastyökälyä olisin seuraavaksi jatkokehittänyt niin, että olisin tutustunut siihen mikä olisi järkevin tapa toteuttaa proseduraalinen UV-kartan teko. Ajanpuutteellisuuden vuoksi lisäsin vain Color-noodin, jolla sai luotua värit.

## 6.2 Proseduraalisuus työskentelytapana

Houdini-ohjelman proseduraalisuus tarvitsee matemaattista ajattelukykyä ja hienoa ohjelmointitaitoja. Siinä pääsee aika pitkälle yksinkertaisia laskusuorituksia tekemällä. Kun menee syvemmälle ohjelmaan luodakseen monimutkaisia asioita, matematiikka- ja ohjelmointitaitojen täytyy olla parempia. Toimintatapoja voi opetella seuraamalla, miten muut käyttävät ohjelmaa. Noodeja ja niiden toiminnallisuuksia on useita opeteltavana.

Olen myös suuresti kiinnostunut ja kuullut paljon hyvää Blender-ohjelmaan luodusta Geometry Nodes -työskentelytavasta. Kokeilin sitäkin projektia tehdesäni, mutta sen kunnollinen opettelu olisi vienyt huomion pois porrastyökälystä.

Uskon, että itselleni hahmottui hyvin missä menisi järkevä raja, milloin siirtyä manuaalisesta mallintamisesta kokonaan tähän proseduraaliseen työskentelytapaan ja rakentaa työkaluja.

Oman näkemykseni mukaan suosittelisin toistuvien asioiden luonnissa tutustumaan proseduraalisuuteen pienemmissäkin yrityksissäkin ja projekteissa. Kun on luotu kaksikymmentä eri tuolia ja sohvaa yhteen tai useampaan projektiin, olisi voitu säästää aikaa tekemällä yksi työkalu, jota voi käyttää alustavana pohjana 3D-mallille. Sitä voi muokata projektien kehittyessä vastaamaan vaatimuksia myöhemmin.

Jos taas tietää tarvitsevänsä vain jonkun tietynlaisen mallin, kuten esimerkiksi keijulle fantasia-asunnon, joka on kenkä, tällöin ei kannata lähteä rakentamaan tätä proseduraalisesti, koska se vie enemmän aikaa. Paitsi jos se tulee johonkin projektiin, jossa on tarve saada viisikymmentä eri kotia.

## Lähteet

Altermesh i.a. Altermesh. Verkkosivu. <https://altermesh.com/> (viitattu 26.9.2023).

Autodesk Maya 2023 i.a. Delete by type menu. Verkkodokumentti. <https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2023/ENU/?guid=GUID-C17C180D-DA3D-496B-8928-FC21C5D46379> (viitattu 5.8.2023).

Autodesk Maya 2024 i.a. Polygon modeling overview. Verkkodokumentti. <https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2024/ENU/?guid=GUID-5855E588-E3C9-4543-A152-989C1BCDDFE1> (viitattu 9.9.2023).

Baqery, Mohsen 2023. How many planets are in Starfield? answered. Verkkootikkeli. Game Rant. <https://gamerant.com/starfield-how-many-planets-are-in-starfield-guide/> (viitattu 18.9.2023).

Blender 3.6 Manual i.a. Geometry nodes modifier. Verkkodokumentti. [https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/generate/geometry\\_nodes.html#geometry-nodes-modifier](https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/generate/geometry_nodes.html#geometry-nodes-modifier) (viitattu 19.9.2023).

Blender 3.6 Manual i.a. Introduction. Verkkodokumentti. [https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/geometry\\_nodes/introduction.html#introduction](https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/geometry_nodes/introduction.html#introduction) (viitattu 8.5.2023).

Brunelli, Mark 2022. Parametric vs direct modeling: which side are you on?. PTC. Blogi 12.12.2022. PTC. <https://www.ptc.com/en/blogs/cad/parametric-vs-direct-modeling-which-side-are-you-on> (viitattu 5.8.2023).

Blender Market 2022. Bengine for Unity. Verkkosivu. <https://blendermarket.com/products/bengine-for-unity> (viitattu 26.9.2023).

Digital arts and entertainment i.a. Procedural: introduction. Verkkosivu. <https://www.digitalartsandentertainment.be/page/283/Procedural%3A+Introduction> (viitattu 15.8.2023).

Gamefromscratch 2021. Altermesh -- Blender Geometry Nodes in Unreal Engine!. Verkkovideo. 13.12.2021. Youtube. 13:06. <https://youtu.be/lvAZXnK8xcU?si=DzIYm2IPsMydu7ER> (viitattu 26.9.2023).

Gazdar, Chetal 2023. Procedural staircase modeling in Houdini: a comprehensive guide. Verkkovideo. 22.2.2023. Youtube. 32:39 <https://youtu.be/VcAOqu7LYW8?si=VgdBRksay1aJOu6M> (viitattu 22.6.2023).

Houdini 2018. Procedural world generation of Ubisoft's Far Cry 5, Etienne Carrier, Houdini HIVE Utrecht. Verkkovideo. 19.6.2018. Youtube. 1:06:04. <https://www.youtube.com/watch?v=NfizT369g60&t=675s> (viitattu 16.9.2023).

Houdini 19.5 i.a. a. Dynamics. Verkkodokumentti. <https://www.sidefx.com/docs/houdini/dyno/index.html> (viitattu 10.9.2023).

Houdini 19.5 i.a. b. Introduction to Houdini. Verkkodokumentti. <https://www.sidefx.com/docs/houdini/basics/intro.html> (viitattu 26.9.2023).

Houdini 19.5 i.a. c. Introduction to digital assets. Verkkodokumentti. <https://www.sidefx.com/docs/houdini/assets/intro.html> (viitattu 25.9.2023).

Ign 2019. Borderlands 3: How they made (literally) a billion guns possible - IGN First. Verkkovideo 21.8.2019. Youtube. 4:54. <https://www.youtube.com/watch?v=bFLhcoFAJMQ> (viitattu 20.8.2023).

InspirationTuts 2020. What is Houdini used for? Verkkovideo 18.3.2020. Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=z1-T\\_vLa7\\_w](https://www.youtube.com/watch?v=z1-T_vLa7_w) (viitattu 16.9.2023).

InspirationTuts 2023. Blender Geometry Nodes in Unity Engine, BEngine. 13.9.2022. Youtube. <https://youtu.be/LDJlrxR0ch4?si=P0fGlg04IDH2MzBd> (viitattu 16.9.2023).

Joensuu, Janne 2016. 3D-alan sanasto. 3D-grafiikan termit suomeksi. Opinnäytetyö. Kajaani: Kajaanin ammattikorkeakoulu, tietojenkäsittelyn tutkinto-ohjelma. <https://www.theseus.fi/handle/10024/113462> (10.9.2023).

Juszczak, Tomasz i.a. How to modify a 3D model in Unity 3D at runtime. Prographers. Blogi i.a. Prographers. <https://prographers.com/blog/how-to-modify-a-3d-model-in-unity-3d-at-runtime> (viitattu 17.8.2023).

Magee, Robert 2022. Houdini Foundations for film, TV & gamedev. E-kirja. Toronto, Ontario: SideFX Foundation. <https://www.sidefx.com/tutorials/foundations-book/> (viitattu 7.5.2023).

Reverón, Adolfo i.a. Robot Artists: How proceduralism is changing the 3D world. Verkkootikkeli. <https://www.rebelway.net/proceduralism-3d/> (viitattu 25.4.2023).

Shaker, Noor & Togelius, Julian & Nelson, Mark J. 2016. Procedural content generation in games, a textbook and an overview of current research. E-kirja. Springer <https://www.pcgbook.com/chapter01.pdf> (viitattu 9.8.2023).

SideFX Houdini 2023. Proceduralism for games? Short answer is yes | Christos Stavridis | GDC HIVE 2023. Verkkovideo 28.03.2023. Vimeo. 21:59. <https://vimeo.com/812282998> (viitattu 25.4.2023).

SideFX i.a. About SideFX. Verkkosivu. <https://www.sidefx.com/company/about-sidefx/> (viitattu 10.9.2023).

Sushmita, Roy 2023. Everything you wanted to know about procedural modeling. ThePro3DStudio. Blogi 14.2.2023. ThePro3DStudio. <https://professional3dservices.com/blog/procedural-modeling.html> (viitattu 20.3.2023).

Unreal Engine 2021. Procedural tools with Houdini, inside Unreal. Verkkovideo. 15.4.2021. Youtube. 1:28:38. <https://www.youtube.com/watch?v=gCt4oLEQ2LU&t=1316s> (viitattu 10.9.2023).

Unreal Engine i.a. Modeling mode overview. Verkkodokumentti. <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/modeling-mode-in-unreal-engine/> (viitattu 17.8.2023).

## Kuvalähteet

Baqery, Mohsen 2023. How many planets are in Starfield? answered. Verkkootikkeli. Game Rant. <https://gamerant.com/starfield-how-many-planets-are-in-starfield-guide/> (viitattu 18.9.2023).

Blender 3.6 Manual i.a. Introduction. Verkkodokumentti. [https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/geometry\\_nodes/introduction.html#introduction](https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/geometry_nodes/introduction.html#introduction) (viitattu 8.5.2023).

Blender 3.6 Manual i.a. Node groups. Verkkodokumentti. <https://docs.blender.org/manual/en/latest/interface/controls/nodes/groups.html#node-groups> (viitattu 19.9.2023).

Gazdar, Chetal 2023. Procedural staircase modeling in Houdini: a comprehensive guide. Verkkovideo. 22.2.2023. Youtube. 32:39 <https://youtu.be/VcAOqu7LYW8?si=VgdBRksay1aJOu6M> (viitattu 22.6.2023).

Houdini 2018. Procedural world generation of Ubisoft's Far Cry 5, Etienne Carrier, Houdini HIVE Utrecht. Verkkovideo. 19.6.2018. Youtube. 1:06:04. <https://www.youtube.com/watch?v=NfizT369g60&t=675s> (viitattu 16.9.2023).

Josich 2019. Houdini procedural rope bridge (HIP file included). Verkkovideo. 23.10.2019. Youtube. 2:20. <https://www.youtube.com/watch?v=kLUeVOMaig> (viitattu 15.9.2023).

Magee, Robert 2022. Houdini Foundations for film, TV & gamedev. E-kirja. Toronto, Ontario: SideFX Foundation. <https://www.sidefx.com/tutorials/foundations-book/> (viitattu 7.5.2023).

SideFX Houdini 2020. Tree Generator. Verkkosivu 24.4.2020. <https://www.sidefx.com/contentlibrary/tree-generator/> (viitattu 25.4.2023).

SideFX Houdini i.a. How Houdini Engine works. Verkkosivu. <https://www.sidefx.com/products/houdini-engine/> (viitattu 15.8.2023).

Stavridis, Christos 2023. Proceduralism for games? Short answer is yes | Christos Stavridis | GDC HIVE 2023. Verkkovideo 28.03.2023. Vimeo. 21:59. <https://vimeo.com/812282998> (viitattu 25.4.2023).

## **Liitteet**

### **Liite 1. Proseduraalisen porrastyökalun esittelyvideo**

Hautanen art 2023. Introduction video to a procedural staircase tool. Verkkoideo. 03.10.2023. Youtube. 5:26. <https://youtu.be/JpFYLEnXqgk> (viitattu 03.10.2023).

### **Liite 2. Proseduraalisen porrastyökalun noodien esittelyvideo**

Hautanen art 2023. Introduction video to the nodes of a procedural staircase tool. Verkkoideo. 03.10.2023. Youtube. 2:22. <https://youtu.be/oVnedT1zLUM> (viitattu 03.10.2023).