

Rami Suvanto

Matalapolygonisen eläinhahmon suunnittelu ja toteutus pelimoottorivalmiiksi assetiksi



Tradenomi
Tietojenkäsittely
Kevät 2019



KAMK • University
of Applied Sciences

Tiivistelmä

Tekijä(t): Suvanto Rami

Työn nimi: Matalapolygonisen eläinhahmon suunnittelu ja toteutus pelimoottorivalmiiksi assetiksi

Tutkintonimike: Tradenomi (AMK), tietojenkäsittely

Asiasanat: 3D, peli, videopeli, peligrafiikka, pelihahmo, 3D-mallinnus, Blender

Opinnäytetyön perimäisenä tarkoituksena oli toteuttaa yleishyödyllinen dokumentti matalapolygonisen eläinhahmon suunnittelusta toteutukseen, jota kenen tahansa olisi mahdollista hyödyntää ilman maksullisten ohjelmistojen rajoituksia.

Aluksi opinnäytetyössä perehdyttiin videopelimaailman eläinhahmoihin yleisesti, sekä valotettiin millaista lopputulosta matalapolygoniselta assetilta haettiin tyylillisesti. Ennen varsinaisen suunnittelun ja mallintamisen työnkulun kuvausta tutustuttiin hieman käytettäviin ohjelmistoihin. Varsinaisessa työstämisprosessissa käytettiin vain ilmaisia avoimen lähdekoodin ohjelmistoja. GIMP ohjelmistoa kuvankäsittelyyn sekä Blender ohjelmistoa 3D-mallintamiseen.

Opinnäytetyössä käytiin läpi myös 3D-mallintamisen keskeisiä periaatteita sekä kuvailtiin eläinhahmon tuottamisen työnkulku vaiheineen. Matalapolygoninen 3D-malli myös teksturoitiin, jonka jälkeen mallille toteutettiin vielä luustorakenne eli rigi.

Oman lemmikin pohjalta suunniteltua pelihahmoa oli mukava tehdä. Monivaiheista työtä toteuttaessa hyvien suunnitelmien tärkeys korostui. Kissahahmon toteutus onnistui kuitenkin mielestäni oikein hyvin, enkä malttaisi olla käyttämättä sitä myöhemmin jossain oikeassa peliprojektissa.

Abstract

Author(s): Suvanto Rami

Title of the Publication: Designing and Creating a Game Engine Ready Low-polygon Animal Asset

Degree Title: Bachelor of Business Administration, Business Information Technology

Keywords: 3D, game, video game, game graphics, video game character, 3D-modeling, Blender

The purpose of this Bachelor's thesis was to produce a document of general interest that would guide the reader through the phases of designing and modelling a low-polygon animal figure in a way that anyone could follow the process without limitations of paid software and licenses.

Initially, the thesis explored the animal characters of the video game world in general, after which some of the stylistic choices that the low-polygon asset sought in style were revealed.

Before describing the actual workflow, software used in the production phase was introduced. Only open source software was used in the actual production stages: GIMP software for image processing, and Blender software for 3D-modeling.

The main principles of 3D-modeling were also discussed in the thesis, and the workflow of the animal character production was described phase by phase. The low-polygon 3D-model was also texturized, after which the model was further implemented with a skeletal structure called rig.

The process of making a game character was based on the author's own pet. The importance of good planning was emphasized when working on a multi phased work. However, the execution of the cat character was very good, and I cannot wait to use it later in a real game project.

Alkusanat

Tämä opinnäytetyö on omistettu rakkaalle kissalleni Maikille.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Eläinhahmot videopeleissä.....	2
2.1	Esimerkkejä hyvin toteutetuista eläinprotagonisteista videopeleissä.....	3
2.2	Katsaus The Legend of Zelda-pelisarjan hevostumppaneihin	6
3	Tyylitelty matalapolygoninen 3D-grafiikka.....	9
4	Käytettävät ohjelmistot.....	12
4.1	Blender	12
4.2	Gimp	13
5	3D-peligrafiikan periaatteet	16
5.1	Tekniset rajoitteet.....	17
5.2	Tarkoituksenmukainen topologia.....	18
6	Sunnittelu	20
6.1	Vaatimukset peliasetille.....	20
6.2	Referenssimateriaalin hankkiminen.....	21
6.3	Mallikuvien tuottaminen.....	22
7	3D-mallintaminen Blenderillä.....	25
7.1	Peilimodifikaattori.....	26
7.2	Etutassujen mallintaminen.....	30
7.3	Kaulan ja pään mallintaminen.....	31
7.4	Silmän mallintaminen.....	33
7.5	Yksityiskohtien lisääminen ja mallin geometrian viimeistely.....	35
8	Teksturointi.....	38
8.1	UV-kartoittaminen	38
8.2	Tekstuurin maalaaminen 3D mallin pintaan	40
9	Riggaaminen	44
9.1	Luustorakenteen luominen	44
9.2	Luustorakenteen ohjaimien, rajoitteiden ja napakohteiden luominen	48
9.3	Painoarvojen maalaaminen.....	51

10	Yhteenveto	53
	Lähteet	55
	Liitteet	

Symboliluettelo

3D-grafiikka	Kolmeen ulottuvuuteen (pituus, leveys ja syvyys) mallinnettua tietokonegrafiikkaa.
3D-malli	Digitaalinen mallinnus, joka koostuu kolmeen ulottuvuuteen sijoitetuista pisteistä ja pinnoista, sekä niiden päälle projisoituista tekstuurikartoista.
assetti	Digitaalinen assetti on esimerkiksi pelimoottorin hyödyntämä tiedosto. Assetti on esimerkiksi 3D-malli, jota hyödynnetään haluttuun tarkoitukseen.
Blender	3D-mallinnusohjelma
ekstruusio	Polygonin tai sen osan jatkaminen vetämällä niin, että siitä syntyy lisää geometriaa.
GIMP	Kuvankäsittelyohjelma
lowpoly	Lowpoly on polygoneista koostuva 3D-grafiikka, joka koostuu vähäisestä määrästä polygoneja.
mesh	Polygoneista koostuva 3D-muoto
modifikaattori	Automatisoitu toiminto, joka esimerkiksi lisää 3D-objektin resoluutiota ohjelmistossa.
n-goni	Viisi tai useampireunainen polygoni.
Napakohde	3D-mallin Luustorakenteiden yhteydessä käytetty apuobjekti. Napakohde määrittelee mihin suuntaan nivelet kääntyvät luuketjua liikuteltaessa.
peilimodifikaattori	Automatisoitu toiminto, joka peilaa objektista määritellyt akselit tuottaen symmetrisen kokonaisuuden.
polygoni	Polygoni on kolmiulotteisessa grafiikassa renderöintiin käytettävä monikulmion kaltainen primitiivi.
reuna	Verteksien välisiä linjoja.

renderoiminen	Värin ja varjostuksen keinoin kuvantamista. 3D-mallit renderöidään ohjelmallisesti näyttämään kolmiulotteisilta
Riggaaminen	Eräänlaisen luustorakenteen luomista 3D-mallin sisään, sen myöhempiä liikuttamista varten
rigi	Luurankomainen rakenne, joka on sidottu 3D-topologiaan sen liikuttamisen mahdollistamiseksi esimerkiksi animoidessa.
sivu	Polygonin verteksin ja reunojen sisään jäävä pinta.
teksturointi	3D-mallin pinnan ominaisuuksien määrittelemistä pintaan projisoitavan 2D-grafiikan avulla.
topologia	3D-mallin muoto avaruudessa.
verteksi	Piste 3D-avaruudessa tilassa (engl. Vertex)

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheeksi valittiin matalapolygonisen eläinhahmon suunnittelu ja toteutus aina pelimoottorivalmiiksi 3D-malliksi asti. Yhtenä aihevalinnan perusteluina oli eläinhahmojen vähäisyys julkaistuissa opinnäytetöissä sekä se, että mielestäni peleille, joissa on eläinhahmo pelattavana hahmona tai keskeisessä roolissa, on jo ennestään tilausta. Myös orgaanisen hahmon mallintaminen teknisin menetelmin optimoituun muotoon on haasteena mielenkiintoinen. Tulevaisuudessa minun on mahdollista hyödyntää tuotosta myöhemmissä suunnitelmissani, sillä aihealue on henkilökohtaisesti erityisen lähellä sydäntä. Tarkoitukseni on käyttää omaa rakasta kissaani elävänä mallina ja inspiraation lähteenä suorittavaa osuutta varten, eli valmis peliasetti on kissani pohjalta toteutettu 3D pelihahmo.

Opinnäytetyössä perehdytään videopelimaailman eläinhahmoihin yleisesti sekä valotetaan hieman millaista lopputulosta matalapolygoniselta asetilta haetaan tyyllisesti. Yleensä peleissä seikkaillaan tai taistellaan ihmishahmolla, mutta tämän työn tarkoituksena on kuitenkin toteuttaa pelihahmo ilman selkeästi samaistuttavaa humanoidia. Samalla pyritään hieman valottamaan pelihahmon mahdollista kontekstia sekä sitä, millainen on hyvä ja samaistuttava protagonist.

Tarkoituksena on toteuttaa yleishyödyllinen dokumentti eläinhahmon suunnittelusta toteutukseen, jota kenen tahansa olisi mahdollista hyödyntää ilman maksullisten ohjelmistojen rajoituksia. Tämän vuoksi varsinaisessa työstämisprosessissa käytetään vain ilmaisia avoimen lähdekoodin ohjelmistoja: GIMP-ohjelmistoa kuvankäsittelyyn sekä Blender-ohjelmistoa 3D-mallintamiseen. Opinnäytetyössä käydään läpi suunnittelun ja 3D-mallintamisen keskeisiä metodeja sekä perehdytään hieman käytettäviin ohjelmistoihin.

2 Eläinhahmot videopeleissä

Yksi videopelien parhaimmista puolista lienee kuinka ne voivat tarjota pelaajalleen mahdollisuuden kokea jotain uutta ja vieläpä täysin uudesta perspektiivistä. Videopeliviihteen avulla pelaajan on mahdollista samaistua johonkin arkipäiväisen itsensä ulkopuolella. Videopelien tarjoaman immersion kautta pelaaja voi samaistua laajaan skaalaan erilaisia hahmoja. Videopelimaailmassa pelaaja voi kokea olevansa vaikkapa androidi, demoni, jumala, melkeinpä mitä tahansa, sillä vain mielikuvitus on rajana. (Davis B. 2015)

Jotkut videopelit kuitenkin tarjoavat pelaajalle mahdollisuuden kokea maailmaa eläimen näkökulmasta. Eläimet ovat lähtökohtaisesti samaistuttavia jo pelkästään sen vuoksi, että niitä tapaa ihan normaalissa elämässä ja niiden kanssa voi olla vuorovaikutuksessa. Videopeleissä nähdäänkin paljon inhimillistettyjä eläinhahmoja, kuten esimerkiksi Sonic-siili tai Crash Bandicoot niminen pussimäyrä. Monesti eläinhahmon määritelmä ei ole kovin yksiselitteinen, varsinkin jos puhutaan eläinhahmosta joka ei perustu tosimaailman vastineeseen, kuten esimerkiksi Pokemonista tuttu Pikachu (kuva 1). Tästäkin ihastuttavasta otuksesta jää kuitenkin samaistuttava ja hellyttävä vaikutelma, joka tuo omanlaisensa tunnelatauksen pelikokemukseen. Myös oma osa-alueensa on videopelit, joissa eläinhahmot perustuvat todellisuuden vastineisiinsa ilman normaalista poikkeavia supervoimia. (Davis B. 2015)

On kuitenkin olemassa videopelejä, joissa pelaaja pääsee pelaamaan todellisuutta vastaavalla eläimellä. Esimerkiksi Ape Out-pelissä pelaaja voi riehua laboratorioden, toimistojen ja muiden tapahtumapaikkojen keskellä voimakkaana ja vihaisena gorillana. Toisena esimerkkinä maininnan saa Catlateral Damage-peli, missä pelaamaan pääsee kissalla, jonka tehtävänä on kaataa ja tiputella esineitä. Kissan omistajat varmasti pystyvät samaistumaan pelin tarjoamaan huumoriin ja pääsevät kerrankin vaihtamaan roolia oman lemmikkinsä kanssa. Osalle pelaajista tällainen onkin hauskaa erityisesti siksi, etteivät he muuten pääsisi kokemaan mitään vastaavaa. Videopelien luoma immersio onkin jotain mitä esimerkiksi kirjat tai elokuvat eivät pysty vastaavalla tavalla tarjoamaan. (Zwiezen Z. 2019)



Kuva 1. Pikachu ja Ash valmiina seikkailuun. Pokemonissa nähdään paljon mielikuvituksellisia eläinhahmoja. (Nintendo 2019)

2.1 Esimerkkejä hyvin toteutetuista eläinprotagonisteista videopeleissä

Aikojen saatossa peleissä on nähty monia mielenkiintoisesti toteutettuja eläinprotagonisteja. Monet eläinlajit ovat lunastaneet paikkansa videopelien historian kirjoista sekä pelaajien kultaisista muistoista.

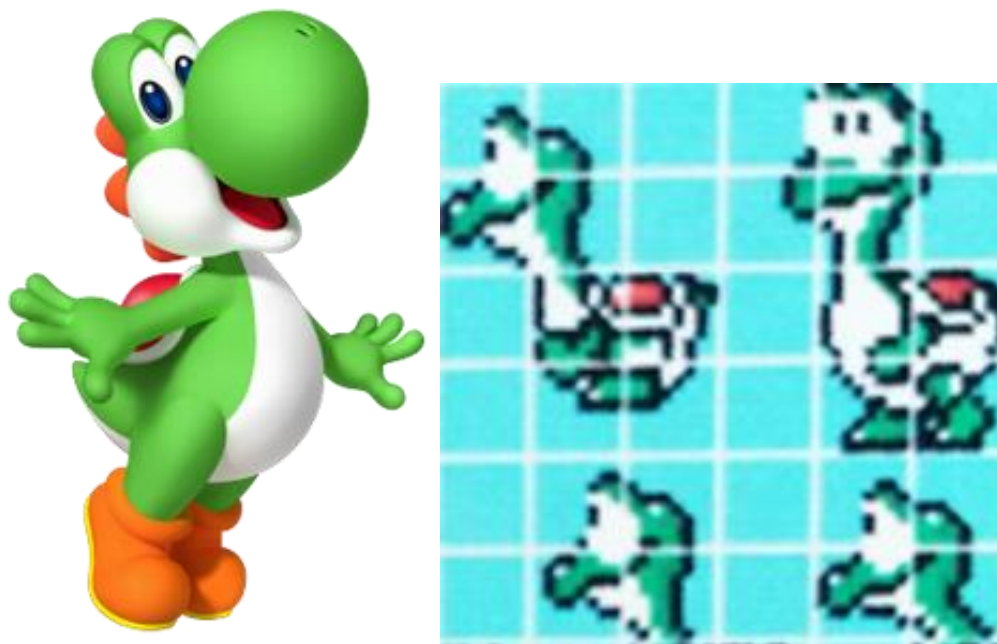
Naughty Dog-pelistudion Crash Bandicoot (kuva 2) oli luultavasti Nintendon Mario 64-pelin suurin haastaja 90-luvun lopulla. PlayStation-pelikonsolille kehitetyllä pelillä oli täysin oma persoonallisuutensa ja charminsa. Oli selvää, että Crash Bandicoot oli muutakin kuin imitaatio Mario 64:sta. Crash Bandicoot on hahmona inhimillistetty versio pussimäyrästä. Pussimäyrän inhimillistäminen selittyi pelin tarinalla. Pelin tarinan mukaan Crash mutatoitui ilkeän tohtori Neo Cortexin toimesta heti ensimmäisen pelin alussa. Mutatoitumisen jälkeen Crash pakeni Neo Cortexin laboratoriosta, jonka jälkeen alkoi valtava seikkailu fiktiivisessä Wumpen-saaristossa. Crash seikkaili pelastaaksensa tyttöystävänsä Tawna Bandicootin tohtori Neo Cortexin kynsistä. Peli piti sisällään

monia mieleenpainuvia nopeatempoisia takaa-ajokohtauksia, missä ohjattiin kameraa päin juoksevaa Crashia. Ensimmäinen peli julkaistiin 1996, jonka jälkeen peli on saanut useita jatko-osia. Hauskana yksityiskohtana mainittakoon, että varhaisimmalle Australiasta löydetylle pussimäyrän fossiilille on annettu latinalaiseksi nimeksi sittemmin Crash bandicoot. (Gardner L. 2012)



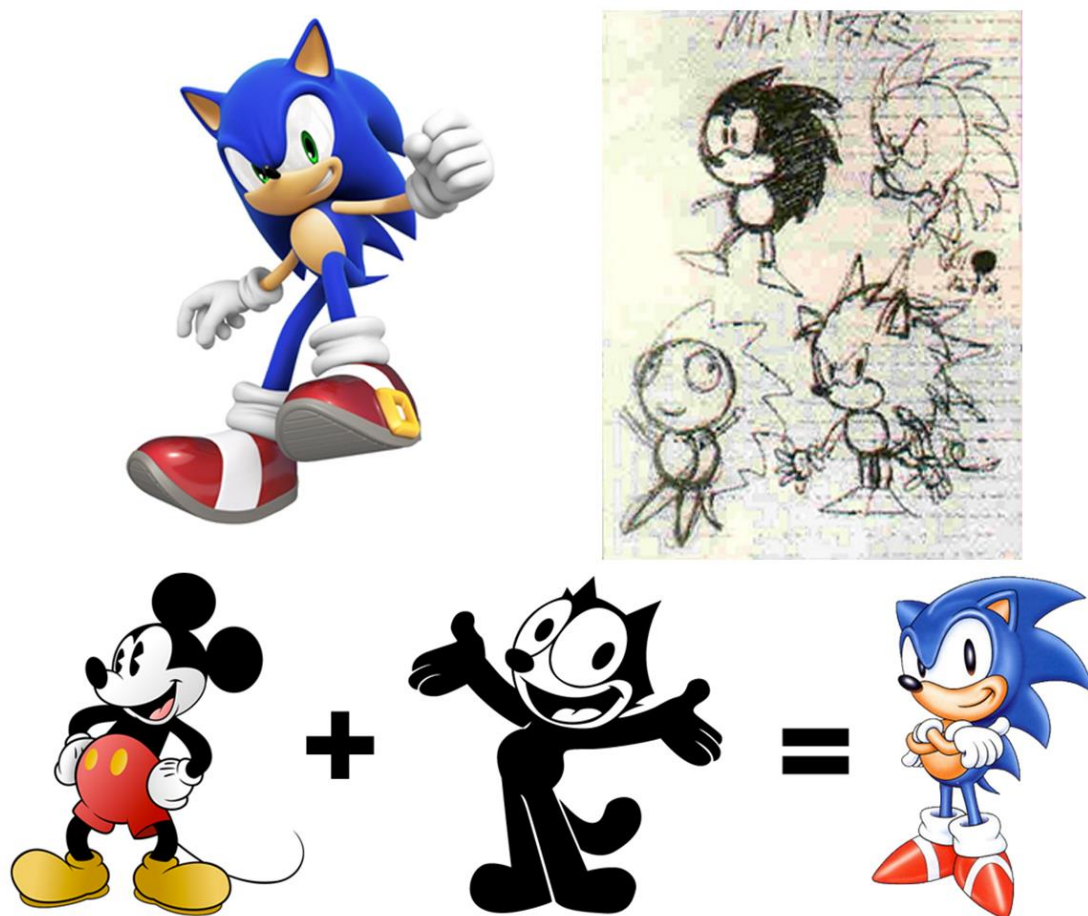
Kuva 2. Kuvassa esiintyvä pussimäyrä on myös Crash Bandicootina tunnettu pelihahmo. (Gardner L. 2012)

Yoshi (Kuva 3) on fiktiivinen dinosaurus, joka esiintyy useissa Mario-peleissä. Yoshi-nimeä käytetään kuvaamaan myös muita samaan lajiin kuuluvia dinosaurushahmoja. Ensimmäisen kerran Yoshi esiintyi Super Mario World -pelissä, joka julkaistiin vuonna 1990. Alun perin Yoshin inspiraationa toimi hevosella ratsastava Mario. Super Mario World peliin kehitetty dinosaurusmaa antoi kuitenkin täydellisen mahdollisuuden kehittää dinosaurushahmoa pidemmälle. Marion ystävänä tunnettu Yoshi on väriltään vihreä, mutta Yoshi-lajin dinosauruksia esiintyy muissakin väreissä. Punainen Yoshi voi sylkeä tulipalloja, kun taas sininen Yoshi pystyy kasvattamaan itselleen siivet lentämistä varten. Peleissä Yoshit käyttävät hyväksi pitkää kieltänsä, joilla ne saavat napattua esineitä ja vihollisia suuhunsa. Yoshin ruokavalio koostuu pääsääntöisesti hedelmistä, joita löytyykin paljon syötäväksi pelimaailmasta. Peleissä koopan kilpiä syömällä Yoshi saa erikoiskykyjä käyttöönsä. Hauskana Nintendo triviaa mainittakoon, että Yoshin täydellinen nimi on T. Yoshisaur Munchakoop. (Alex W. 2017; Wikipedia 2019a; Gardner 2012)



Kuva 3. Kuvassa Yoshi. Yoshi on Nintendon Mariopeleistä alun perin tunnetuksi tullut sympaattinen dinosaurushahmo. (Gardner L. 2012) Oikealla kuvassa myös varhaisia Yoshin prototyyppejä.

Sonic-siili on Segan oma maskotti, jonka ensiesiintymisen oli Sonic the Hedgehog-videopelissä. Sonicin nimeä kantava videopeli julkaistiin alkujaan Sega Mega Drivelle. Maskottia suunniteltaessa siitä haluttiin helposti samaistuttava, mutta kuitenkin poliittisesti korrekti hahmo. Sonicin suunnitellut Naoto Ōshima väittää vain yhdistäneensä Felix kissan pään Mikki Hiiren ruumiiseen Sonic-siiliä luonnostellessaan (kuva 4). Sonicin sininen väritys vastaa Segan logon väritystä. Maskottia suunnitellessa oli luonnollista päätyä eläimeen, joka toimisi myös pelihahmona. Värikäs söpö siili antaa viileän vaikutelman ja toimii hyvänä lähettiläänä Segan nuorisokeskeiselle brändille. Melkein jokaisessa Sonic-pelissä antagonistin roolista löytyy ilkeä tohtori "Eggman" Robotnik. Tohtori Robotnik kaappaa paha-aavistamattomia eläimiä aikeissa muuttaa ne Badnik-roboteiksi. Sonic singahtaa paikalle tavoitteenaan pelastaa Etelän saaren sekä kaapatut eläimet ilkeän tohtorin hallusta. Pelin maailmanlaajuinen julkaisu oli vuonna 1991 ja se menestyi todella hyvin. Sonic-pelit ovat tulleet tunnetuksi nopeudestaan, joka onkin kuin tavaramerkki niin kaksi- kuin kolmiulotteisissakin Sonic-peleissä. (Alex W. 2018; Samuel C. 2014; Wikipedia 2019b)



Kuva 4. Kuvassa vasemmalla ylhäällä Segan maskotti, ikoninen Sonic-siilihahmo. Kuvassa oikealla ylhäällä Sonicista tehtyjä varhaisia luonnoksia. Sonicin suunnitellut Naoto Ōshima väittää vain yhdistäneensä Felix kissan pään Mikki Hiiren ruumiiseen Sonic-siiliä luonnostellessaan (Samuel C. 2014; Gardner L. 2012)

2.2 Katsaus The Legend of Zelda-pelisarjan hevuskumppaneihin

Historiallisesti tarkasteltaessa on videopeleissä nähtyjä eläinkumppaneita kohdeltu kuin esineitä tai työkaluja, joilla pelaajaa palkitaan. Jo aikaa nähneissä pelijulkaisuissa interaktiot eläinhahmojen kanssa ovat helposti verrattavissa interaktioihin esineiden, kuten esimerkiksi pelin aseiden kanssa.

Epona niminen hevonen Legend of Zelda Ocarina of Time-pelistä oli pelaajalle lähinnä tapa matkustaa nopeammin, eli lähempänä pelimekaanista ratkaisua kuin eläinkumppania. Vaikkakin tässä tapauksessa pelin eläinkaverista oli pelimekaanisesti hyötyä nopeamman matkustamisen muodossa, tarjosi se silti myös seuralaisen seikkailuihin. Samaistuttavuus ja kumppanuuden kokeminen kuitenkin peittoaa pelkän pelimekaanisen hyödyn muisteltaessa seikkailuja Eponan kanssa. Kuitenkin vielä Eponan tapauksessa todellinen seuralaissuhde on ollut kovin yksipuolista. Yksipuolisuudestaan huolimatta seurustelu videopelin eläinhahmon kanssa herättää pelaajassa voimakkaita tunnereaktioita. Oikein toteutettuna vuorovaikutussuhteen yksipuolisuudestakin pystyisi pääsemään eroon eikä tunnelatauksen tarvitsisi lyssähtää eläinkumppanin näkemisenä ainoastaan pelimekaanisena hyödykkeenä. Ocarina of Time-pelissä pelaajan ei tarvitse painaa mitään näppäimiä tai opetella uusia kontroleja käyttäkseen Eponan taitoja. Pelin systeemi kategorioi Eponan Linkin tavaksi liikkua nopeammin, joka on verrattavissa esimerkiksi tulitunikan puke-miseksi kestääkseen kuumia lämpötiloja. Epona ilmestyy pelaajalle aina okariinaa soitettaessa, oli pelaajan sijainti mikä tahansa pelimaailmassa, jopa ympäristön ollessa vaarallinen. (Joho J. 2017)

Uudemman Zelda julkaisun, Breath of the Wild, hevonen on kuitenkin aivan toista maata. Breath of The Wild-pelistä löytyy laaja valikoima erilaisia hevosia, joilla jokaisella on oma uniikki persoonallisuutensa, joka koostuu temperamentin ja taitojen yhdistelmästä. Pelimaailmasta pelaaja voi löytää ratsukseen harvinaisia hevosia, jättiläishevosia, villihevosia ja jopa kuninkaallisia hevosia. Pelaaja voi hevosen kesytettyään antaa sille haluamansa nimen. Pelistä löytyy myös muita eläimiä, joilla pystyy ratsastamaan, mutta ainoastaan kesytetyt hevoset voi rekisteröidä pelin hevos-talliin säilytystä varten. Erikoisratsuiksi lukeutuu mm. hirviä, karhuja ja useita muita eriskummal-lisia otuksia. (Satyajit S. 2018)

Tämän lisäksi peliin on lisätty kokonainen koulutusysteemi, joka ottaa hevosen persoonallisuuden piirteet huomioon. Pelaaja voi kouluttaa hevostaan antamalla positiivista palautetta rapsu-tuksien muodossa. Pelaajan tarvitsee ylläpitää suhdettaan hevoseen 100-prosenttisena, jotta he-vosen ulkonäköä pystyy muuntelemaan. Myös hevosen ohjausta varten on opeteltava käyttä-mään kannuksia oikein. Pelissä hevosen käyntiin saa lisää vauhtia aina laukkaan asti painamalla ratsastuksen yhteydessä A-näppäintä oikeassa suhteessa. Hevosen kontrollointi eroaa kävelevän pelihahmon kontrolloinnista luoden tietynlaista uskottavuutta eläinhahmon ja pelihahmon vä-lille. Breath of the Wild-pelin hevoset eivät myöskään ilmesty kuin tyhjältä pelaajan niin halu- tessa. Hevoset saapuvat paikalle ainoastaan ollessaan kuuloetäisyydellä kutsuvasta vihellyksestä

ja jos reitti on selvä sekä turvallinen. Mikäli hevosen jättää jälkeensä, ne jäävät alueelle ja etsivät suojaa itsenäisesti esimerkiksi sateen varalta. Turvatakseen hevosensa kunnolla pelajan täytyy sijoittaa ne talliin. Tallin ollessa täynnä voi jostain hevosesta luopua. Hevosesta luovuttaessa pelin tallipäällikkö kuitenkin lupaa pitää siitä hyvää huolta. (Joho J. 2017)

Muutokset pelimekaanisissa ratkaisuissa eläinkumppaneiden osalta eivät välttämättä juonna juuriaan kulttuurisesta muutoksesta tai Nintendon pelisuunnittelufilosofian evoluutiosta. Paljon uudistuksista johtunee yksinkertaisesti teknologisesta kehityksestä, jota on tapahtunut vuoden 1998 ja 2017 välillä. Nykyään pelimaailmat voivat olla suurempia ja voivat sisältää enemmän moniulotteisia interaktiomahdollisuuksia. Panostus pelihahmon ja pelissä nähtävien eläinhahmojen väliseen suhteeseen ei ole mennyt hukkaan. Breath of the Wild pelin hevoset erottuvat edukseen yksilöllisyydellään ja tekoälyllään pelisarjassa aikaisemmin nähdyistä hevosista. Realistisemmän vuorovaikutussuhteen lisäksi pelin hevosiin kiintyy jo ihan siitä syystä, etteivät ne vain tottele pelaajaa päättömästi. (Joho J. 2017)

3 Tyylitelty matalapolygoninen 3D-grafiikka

1990 lukua on pidetty kenties innovatiivisimpana aikakautena pelien historiassa. Videopelien grafiikka alkoi siirtyä pikseligrafiikasta täysin renderöityyn 3D-grafiikkaan. Hahmot, fysiikat ja ympäristöt alkoivat peleissä vaikuttamaan toinen toistaan realistisemmilta. Monet pelikehittäjät veivätkin uutta teknologiaa äärimmilleen. Teknologian kehittyessä onkin alkanut näennäisesti loputon kilpailu siitä, kuka kehittäisi kaikista realistisimmat grafiikat.

Tyylitelty 3D grafiikka tarjosi kuitenkin vastineen muuten lähes fotorealismiin tähtäävälle yleiselle kehitykselle. Alkoi ilmestyä julkaisuja, joissa oli onnistuneesti käytetty tyyliteltyä grafiikkaa pelin visuaalisessa ilmeessä. Tyylitelty grafiikka peleissä onkin monipuolinen ja usein myös suorituskyvylle edullinen vaihtoehto toteuttaa pelin grafiikat.

Myöhemmin varsinaisen työn suorittavassa vaiheessa mallinnettiin kissa pelimoottorissa ajon aikana sulavasti pyöriväksi assetiksi. Halutun lopputuloksen saavuttamiseksi päädyttiin visuaalisesti tyyliteltyyn lopputulokseen. Tyylitellyllä tarkoitetaan tässä tapauksessa hieman sarjakuvamaista visuaalista ilmettä, kissan tiettyjä piirteitä hieman korostaen. Tyylitelty tyyli sopiikin erinomaisesti matalapolygonisille aseteille (kuva 5).

Matalapolygoninen tyyli juontaa juurensa 3D-grafiikan alkutaipaleelta. Maisemien kasaaminen matalapolygonisella resoluutiolla auttoi vähentämään grafiikan laskemiseen käytettävää aikaa ja auttoi nopeuttamaan aikakautensa pelien ja animaatioiden kehitysprosessia. Näistä ajoista teknologia on tullut jo pitkälle, mutta matalapolygonista tyyliä käytetään yhä vähentämään grafiikan laskentaan käytettävää aikaa. Itse asiassa matalapolygoninen kerrontatapa on nykyiseltään jo tyyli itsessään. (Hannah S. 2015)



Kuva 5. Ruudunkaappaus Nintendon Legend of Zelda: Wind Waker pelistä. Pelin seikkailijahahmo Linkin toteutus edustaa tyyliä, joka on toteutettu matalapolygonista graafista tyyliä. (Gamers Temple 2019)

Matalapolygonista tyyliä toteutettaessa on otettava huomioon referenssimateriaali ja tekniset rajoitteet. Työstettävän 3D-mallin tulisi välittää konseptin luoma idea mahdollisimman sellaisenaan. 3D-mallia mallinnettaessa olisi tärkeää pitäytyä konseptin mukaisissa mittasuhteissa, niin eri elementtien osalta, kuin myös elementtien keskinäisten sijaintien suhteen. Kaiken tulisi vastata käytettäviä mallikuvia mahdollisimman tarkasti. (Kuznetsov A. 2019)

Peligrafiikkaa toteuttaessa kaikkea ei voi, eikä välttämättä tarvitse kuvailla. Pelihahmon mallintamista suunniteltaessa on hyvä kuvitella etukäteen miltä se näyttäisi pelin sisällä. Mielikuvituksen keinoin on mahdollista analysoida mitkä hahmon osa-alueet tulisi toteuttaa mallintamisen tekniikoin, ja mitkä teksturoinnin avulla. Yksinkertaistus voi tapahtua geometrian keinoin, jättäen pienimmät yksityiskohdat tekstuurikarttojen avulla toteutettaviksi. Joskus voi olla tarkoituksenmu-

kaista jättää joitain pieniä yksityiskohtia mallintamatta, jotta polygonimäärä pysyisi tarkoituksenmukaisena. Kuitenkin olisi tärkeää pitää toteutettavan hahmon siluetti mahdollisimman kuvaavana 3D-avaruuden eri kuvakulmista tarkasteltaessa. (Kuznetsov A. 2019)

Tämän opinnäytetyön yhteydessä toteutettavassa 3D-mallissa käytetään ainoastaan yksinkertaisia tekstuurikarttoja, mutta pelkästään väri-informaatiota hyödyntämällä voidaan saavuttaa visuaalisesti ilahduttavaa kerrontaa, joka on hahmon kontekstissa tarkoituksenmukaista. Samankaltaista tyyliä realismia löytyy esimerkiksi Valven Team Fortress-pelisarjasta (kuva 6) tai Epic Gamesin tuoreesta Fortnite-pelistä.



(a) Concept art



(b) Character in the game

Kuva 6. Tyyliä grafiikkaa Valven Team Fortress pelistä. Vasemmalla konseptitaidetta ja oikealla lopullinen pelihahmo. (Anjin A. 2016)

4 Käytettävät ohjelmistot

Tässä kappaleessa esitellään työn suorittavassa osuudessa käytettäviä ohjelmistoja. Tutustutaan samalla käytettävien ohjelmien perustoimintoihin ja ominaisuuksiin, jotta suorittavan vaiheen dokumentoinnin seuraaminen on lukijalle mielekästä. Kaikki työn suorittavassa vaiheessa käytettävät ohjelmistot ovat avoimen lähdekoodin ohjelmistoja sekä ilmaisia, joten ne ovat kenen tahansa vapaasti ladattavissa internetistä.

Blender sekä GIMP toimii ja on käytettävissä avoimen lähdekoodin ilmaisessa Linux-käyttöjärjestelmässä.

4.1 Blender

Ensin perehdytään hieman avoimen lähdekoodin Blender-ohjelmistoon. Aikojen saatossa Blender on saanut mainetta vaikeasti lähestyttävänä ohjelmistona, varsinkin lukuisien pikanäppäimiensä johdosta. Kuitenkin version 2.8 myötä Blenderin käyttöliittymää on kehitetty loogisemmaksi ja sen käytettävyyttä paranneltu huomattavasti.

Blender on ilmainen ja avoimen lähdekoodin 3D-tietokonegrafiikkaohjelmisto, jota käytetään animaatioelokuvien, visuaalisten tehosteiden, taiteen, 3D-tulostettujen mallien, vuorovaikutteisten 3D-sovellusten ja videopelien luomiseen. Blenderin ominaisuuksia ovat muun muassa 3D-mallinnus, UV-saumaaminen, teksturointi, rasterigrafiikan muokkaus, riggaaminen, nesteiden ja savun simulointi, hiukkasten simulointi, pehmeiden materiaalien simulointi, kuvanveisto, animointi, kuvan seuranta, renderointi ja videon editointi. Uuden 2.8 päivityksen myötä Blenderillä on käyttökohteensa myös 2D-animaatioiden luomisessa.

Blenderiä käytetään pääsääntöisesti eri toimintatiloissa. Pääasialliset toimintatilat 3D-mallinnukseen ovat esinetila (object mode) ja muokkaustila (edit mode). (Wikipedia 2019c)

Esinetilassa voidaan muokata esineen sijaintia ja asentoa 3D-avaruudessa, kun taas muokkaustilassa voidaan muokata valitun esineen topologiaa, esimerkiksi 3D-mallin yksittäisten verteksin sijaintia. (Blender Foundation 2019, Wikipedia 2019c)

Blenderissä useat ominaisuudet ovat pikanäppäinten takana, ja usein uudella käyttäjällä meneekin tovi opetellessaan erilaisia näppäinyhdistelmiä. Näiden opettelu ei kuitenkaan ole turhaa, sillä pikanäppäimet opittua Blender mahdollistaa käyttäjälleen sulavan ja kokemuksena katkeamattoman työn kulun. Versioon 2.8 päivittämisen myötä toiminnot löytyvät kuitenkin myös ohjelmiston visuaalisesta käyttöliittymästä.

4.2 Gimp

GIMP (GNU Image Manipulation Program) on ilmainen ja avoimen lähdekoodin rasterigrafiikkaeditori, jota käytetään kuvien retusointiin ja muokkaamiseen, vapaamuotoiseen piirustukseen, eri kuvamuotojen muuntamiseen ja erikoistuneempiin tehtäviin. GIMP julkaistaan GPLv3 + -lissenssien alla, ja se on saatavana Linux-, MacOS- ja Microsoft Windows -käyttöjärjestelmiin.

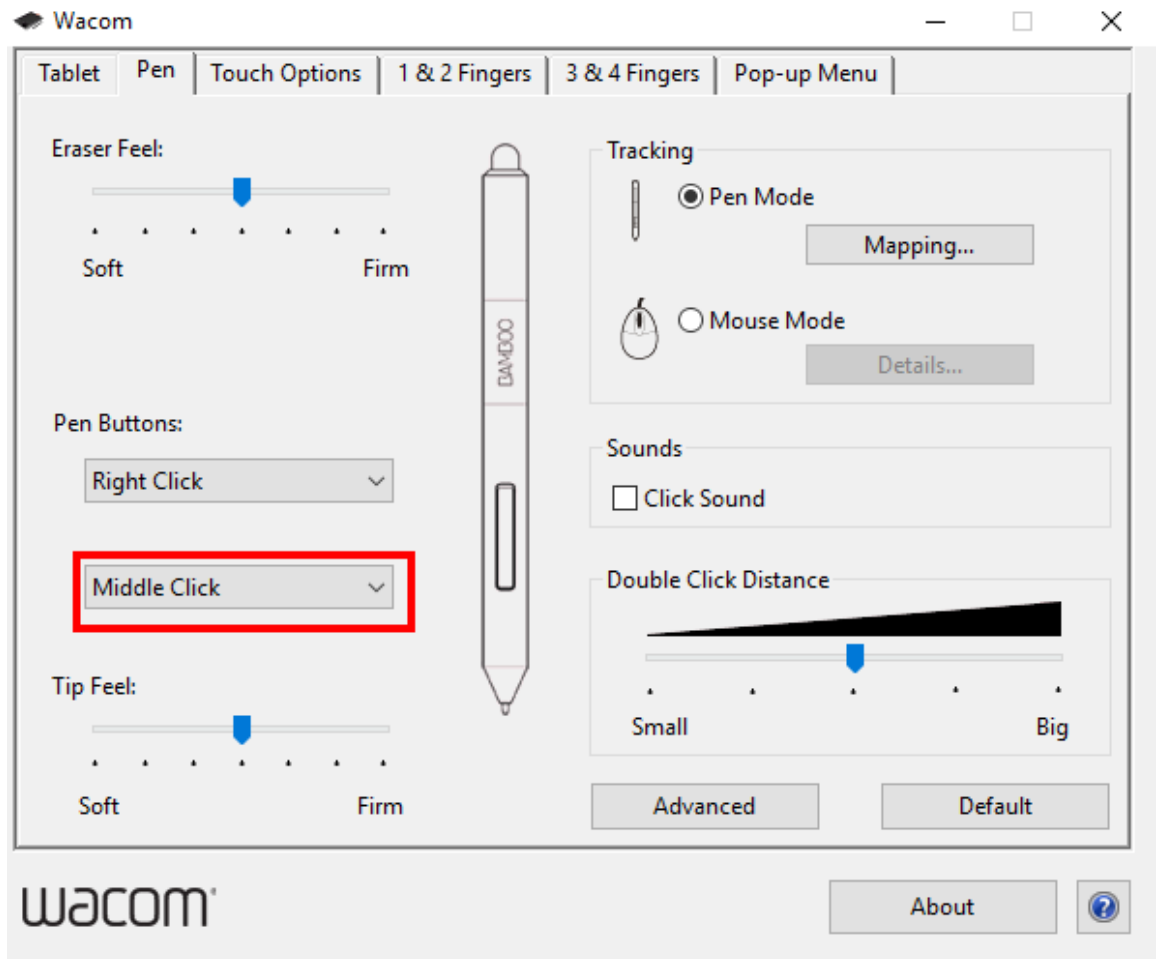
Pääsääntöisesti GIMP-ohjelmaa käytetään valokuvien ja digitaaligrafiikan käsittelyyn. Tavallisimmat käyttökohteet löytyvät grafiikan luomisesta, kuvakokojen muuttamisesta, kuvanparannuksista sekä kuvaformaattien välisistä muunnoksista. GIMP-ohjelmistolla voidaan luoda myös yksinkertaisia kuvapohjaisia animaatioita. (Gimp Documentation Team 2019; Wikipedia 2019d)

GIMP:ssä kuvia voidaan muokata monilla työkaluilla. Yleisempiä työkaluja ovat sivellin, lyijykynä, maaliruisku, pyyhekumi ja musteen työkalut, joita käytetään uusien tai sekoitettujen pikselien luomiseen. Bucket Fill -työkalua voidaan käyttää täyttämään haluttu valinta värillä tai kuviolla. Blend-työkalulla voidaan täyttää valintoja värigradientilla. Värsiirtymiä voidaan soveltaa suuriin alueisiin tai pienempiin mukautettuihin valintoihin. (Gimp Documentation Team 2019; Wikipedia 2019d)

Gimpissä on suuri valikoima esiasetettuja siveltimiä. Käyttäjä Siveltimiä voi luoda kuitenkin itselisiä. Siveltimiä voi käyttää pehmeinä, terävinä tai niitä voidaan käyttää kuten pyyhekumia. Siveltimien läpinäkyvyyttä voidaan muuttaa, sekä niiden avulla voi luoda tehosteita. GIMP:stä löytyy kattavat työkalut värien valintaan ja hallintaan. Palettityökaluja voi käyttää CMYK-, RGB-, HSV-, väripyörä-sekoitustiloissa. Värien poimintaan erilaisia työkaluja, sekä tuki myös HTML:n värikooduille.

GIMP: llä on tuonti- ja vientituki useille eri kuvatiedostomuodoille, kuten BMP, JPEG, PNG, GIF, TIFF ja HEIF, sekä useiden muiden sovellusten, kuten Autodeskin flic-animaatioiden, Corel Paint-Shop Pro -kuvien ja Adobe Photoshop -asiakirjojen tiedostomuodoille. (Gimp Documention Team 2019; Wikipedia 2019d)

GIMP:n käyttö piirtopöytien kanssa työskennellessä on suhteellisen helppoa. Hyvän työnkulun löytämiseksi käyttäjä joutuu kuitenkin määrittämään ohjelmistoa mieluisaksi (kuva 7). Opinnäytetyötä tehtäessä jouduttiin säätämään sivellintyökalun pikanäppäimien kanssa, sekä määrittämään piirtopöydän kynän näppäimiä siten, että toinen käsi voi pysyä kynällä koko työskentelyn ajan.



Kuva 7. Piirtopöydän kynän määrittämistä GIMP- ja Blender-työskentelyä varten. Kuvan punaisella merkatusa alavetovalikosta asetuksen vaihtaminen vastaavanlaiseksi on hyödyllinen muutos.

Piirtopöydän kynän alimmainen näppäin vastaa yleensä hiiren vasemmanpuoleista painiketta. GIMP:ssä ja Blenderissä yleensä navigoidaan työtilassa käyttäen hiiren kolmatta näppäintä eli hiiren rullaa painamalla. Hyvän työnkulun aikaansaamiseksi vaihdettiin piirtopöydän kynän alimman painikkeen toiminnallisuutta vastaamaan hiiren rullan painamista. Tämä mahdollistaa työtilassa lähentämisen ja loittonemisen sekä helpottaa työtilassa navigointia. Kyseisillä asetuksilla ei tarvitse välillä laskea otettaan kynästä.

5 3D-peligrafiikan periaatteet

3D-mallintaminen on luovaa työskentelyä, missä tietokonetta hyödynnetään tehdessä digitaalisia kopioita jokapäiväisistä esineistä, kuten esimerkiksi ajoneuvoista, koneen osista ja niin edelleen. 3D-malleja käytetään visualisointiin, kommunikointiin ja replikointiin (replikointiin etenkin 3D-tu-
lostuksessa). 3D-mallintaminen on abstrakti taito, jonka harjoittajan ei tarvitse rajoittua fyysisen maailman rajoitteisiin, 3D-mallintamisen onnistuessa helposti läppärillä tai vastaavalla tietokone-
laitteistolla, missä on esiasennettuna 3D-mallinnusohjelmisto. (Cheng L. C. 2014)

Kaikki tietokoneella generoidut 3D-mallit ovat todellisuudessa kokoelma polygonitasoja, jotka on koordinoitusti sidottu toisiinsa ja renderoitu. Vaikkakin 3D-mallien käyttö on yleistä tieteellisellä alueella, sen pääsääntöiset käyttökohteet löytyvät kuitenkin luovan viihdeteollisuuden alueelta, kuten elokuvista, animaatioista ja videopeleistä. Viihdekäyttöön rakennetuista 3D-malleista pelikäyttöä varten luodut 3D-mallit ovat perustavanlaatuisesti erilaisia verrattuna esimerkiksi elokuvissa käytettäviin verrokkeihinsa. Tarkasteltaessa esimerkiksi Tolkienin legendaarista hahmoa Klonkkua on elokuvaversio ja videopeliversio välillä huomattavia eroavaisuuksia (kuva 8). (Cheng L. C. 2014)



Kuva 8. Vasemmalla Klonkun 3D-malli elokuvasta. Oikealla taas Klonkusta pelikäyttöön toteutettu 3D-malli. (Cheng L. C. 2014)

Eroavaisuudet elokuvakäyttöön toteutetun 3D-mallin ja videopelikäyttöön toteutetun 3D-mallin välillä johtuvat käyttötarkoituksesta. Elokuvakäyttöön toteutettu 3D-malli on rakennettu huijamaan katsojan epäuskoa hetkellisesti. Elokuvakäyttöön toteutetulla mallilla on pyritty jäljittelemään realismia, ja tällaisten mallien polygonimäärä voi nousta miljooniin. Miljoonien polygonien ansiosta todellisen elämän tekstuurien ja pintojen tarkka kuvaileminen on mahdollista.

Kun tarkastellaan laskentaresurssien käyttöä, suurin osa elokuvakäyttöön toteutetuista 3D-malleista ovat todella kalliita. Miljoonien polygonien 3D-mallit vievät usein minuutteja vain yhden ruudun renderoimiseen. Pelikäyttöön toteutetut 3D-mallit on toisaalta kehitetty interaktiivisiksi, joten pelikäyttöön luotujen mallien täytyy olla kevyitä ja tehokkaita. Yleensä tavoiteruudunpäivitysnopeutena pidetään 60 ruutua sekunnissa; tällöin kaiken ruudulta löytyvän visuaalin täytyy piirtyä ruudulle 60 kertaa sekunnissa grafiikkaprosessorin toimesta. Pelkästään raskautensa vuoksi elokuvakäyttöön suunnitellun hyperrealistisen mallin käyttö peligrafiikassa on mahdotonta sellaisenaan. (Cheng L. C. 2014)

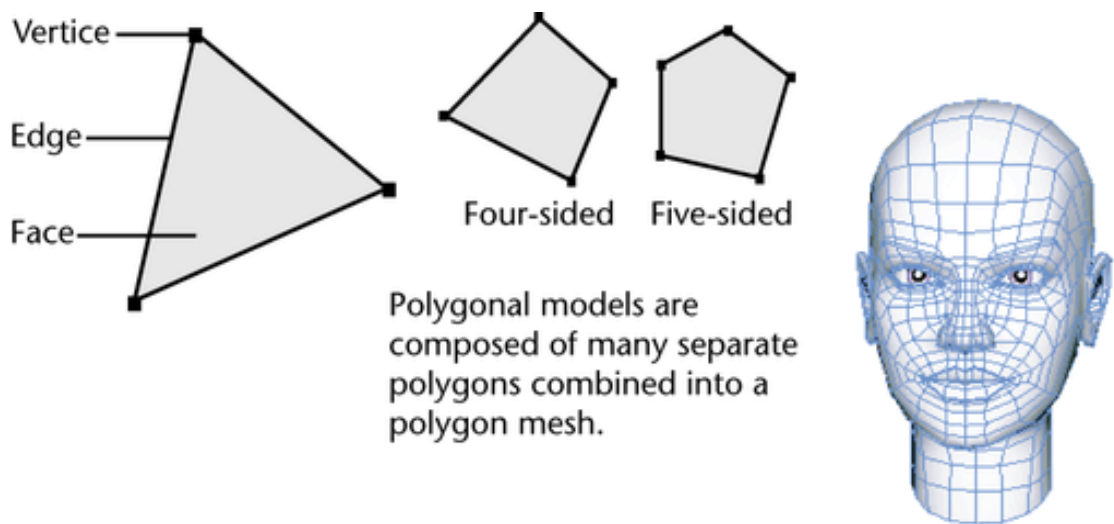
5.1 Tekniset rajoitteet

Kehitettäessä pelejä ja peligrafiikkaa on otettava alustan rajoitteet huomioon. Nämä rajoitteet voidaan yleisesti jaotella kahteen ryhmään: tekniset rajoitteet ja pelilliset rajoitteet. Tekniset rajoitteet ovat rajoitteita, jotka määrittelee kohdelaitteisto ja/tai ohjelmisto, millä pelin tulisi pyöriä sulavasti. Kun tarkastellaan esimerkiksi Nintendon DS-Lite konsolia, sillä on tiukka rajoitus polygonimäärään, minkä se voi piirtää ruudulle yhtäaikaisesti. Rajoitus johtuu 32 bittisestä ARM prosessorista, jonka kellotaajuus on vain 67 MHz, mistä johtuen konsoli kykenee piirtämään noin 6144 verteksiä tai 2048 kolmiota ruudulle yhtäaikaisesti. Tällaista rajoitusta pelikehittäjät eivät voi kiertää, joten pelien graafiset ratkaisut kohdealustalle joudutaan kehittämään rajoitteiden asettamisissa puitteissa. Pelilliset rajoitukset taas tulevat käytettävien resurssien priorisoimisen kautta. On kysyttävä, onko mallinnettava esine vain staattinen taustalta löytyvä lavaste, vai pelillisesti tärkeässä roolissa oleva objekti. (Cheng L. C. 2014)

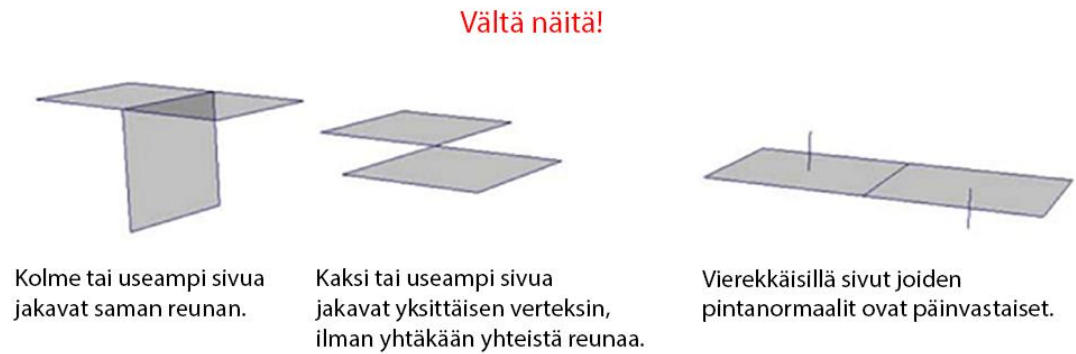
5.2 Tarkoituksenmukainen topologia

Pelikäyttöön 3D-grafiikkaa luodessa tulee ottaa huomioon erityisvaatimuksia topologian suhteen. Yksittäiset polygonit eivät saisi sisältää neljää kulmaa enempää, sillä ne aiheuttavat helposti ongelmia reaaliaikaisesti toistettaessa. Ongelmia, joita niin sanotut n-gonit aiheuttavat, ovat esimerkiksi varjostushäiriöt ja deformaatio-ongelmat 3D-mallin animaatioita toistaessa. (Anjin A. 2016)

Hyvää topologiaa toteuttaessa on myös syytä välttää työstettävän mallin osalta turhia reikiä sekä päällekkäisiä verteksejä. Monista mallinnusohjelmista löytyy automatisoituja toimintoja päällekkäisten verteksen poistamiseen ohjelmallisesti. Päällekkäisiä verteksejä on lähes mahdoton huomata silmin, joten hyvä käytäntö on tarkistaa 3D-mallin puhtaus päällekkäisten verteksen suhteen ajamalla toiminto ennen seuraavaan työvaiheeseen siirtymistä. Kuvassa 9 polygonierimerkkejä, sekä kuvassa 10 esimerkkejä ongelmallisesta topologiasta.

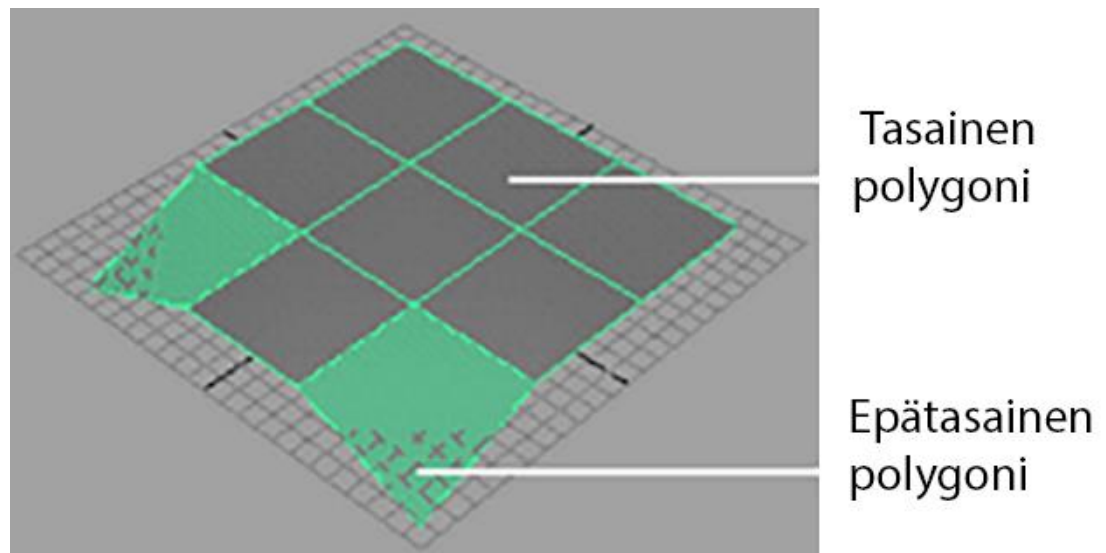


Kuva 9. 3D-mallit koostuvat yksittäisistä sivuista, jotka jakavat reunoja ja verteksejä keskenään. Kuvassa myös viisisivuinen polygoni, niin sanotusti n-goni, joita olisi syytä välttää peligrafiikkaa luodessa. (Autodesk 2016)



Kuva 10. Kuvassa näkyviä topologiaesimerkkejä on syytä välttää. Esimerkkitapaukset tuottavat odottamattomia ongelmia mallinnohjelmistojen automatisoitujen toimintojen yhteydessä sekä varjostusalgoritmien kanssa.

3D-mallia pelikäyttöön tehdessä olisi syytä pyrkiä käyttämään tasaisia polygoneja aina, kun mahdollista. Epätasaiset polygonisivut altistavat varjostushäiriöille renderoituessaan. Epätasaiset polygonisivut saattavat tuottaa ylimääräisen varjon tai piikkimäisen virhemuodon lopulliseen grafiikkaan (kuva 11). (Anjin A. 2016)



Kuva 11. Kuvassa esimerkki tasaisesta polygonista ja usein ongelmia tuottavasta epätasaisesta polygonista.

6 Sunnittelu

Ennen varsinaista työvaihetta kartoitetaan assetilta vaadittavat ominaisuudet. Lähtökohtaisesti työn lopputuotteen tarkoituksena on pyrkiä ajon aikana sulavasti pyörivään 3D-malliin, jonka toteutuksessa otetaan myös animoimisen vaatimukset huomioon. Varsinaista animointia työssä ei tulla dokumentoimaan, aihealueen pitämiseksi järkevän kokoisena ja sopivan tiukkana helppoluokuisena pakettina. Työn toissijaisena tarkoituksena on oppia työstämisprosessista ja kuvailla mahdollisimman hyvä teknisen toteutuksen työnkulku, jota kenen tahansa olisi mahdollista helposti seurata ja hyödyntää tulevaisuudessa.

6.1 Vaatimukset peliasetilille

Peliasetilta eli työstettävältä 3D-mallilta vaaditaan tietynlaisia ominaisuuksia, sillä se toteutetaan tietynlaisen tarpeen tyydyttämiseksi. Näistä lähtökohdista on hyvä lähteä määrittelemään lopulliselta peliasetilta vaadittavia ominaisuuksia, jotta välttyttäisiin ongelmatilanteilta ja tarpeettomalta iteroinnilta projektin myöhemmässä vaiheessa.

Tehdessä optimoitua peliasettia on otettava huomioon tietynlaisia rajoitteita. Esimerkiksi täysin realistiseen lopputulokseen ei päästä ilman, että työstettävän 3D-mallin polygonimäärä nousee liian korkeaksi tai joudutaan käyttämään todella suurikokoisia tekstuurikarttoja, jotka sitten hidastaisivat pelin lopullista suorituskykyä. Kaikesta huolimatta 3D-mallin inspiraation lähteenä toimii kissa elävästä elämästä. Oikean elämän kissan mallintamista voidaan lähestyä myös tyyllitelystä lähtökohdasta.

Vaatimuksena on elävää mallia muistuttava, mutta suorituskyvylisesti edullinen peliasetti. Ratkaisuna karsia polygonimäärää lopullisesta mallista on tehdä lopputuloksesta tyyllitelty ja matala-polygoninen. Myöskin on otettava huomioon, että kissalla on karvainen turkki, ja karvoituksenkin toteutuksen suhteen on oltava maltillinen. Tässä työssä kissan karvainen turkki kuvaillaan tekstuurikarttoja apuna käyttäen.

6.2 Referenssimateriaalin hankkiminen

Kissahahmon suunnittelun tukena käytettiin paljon etukäteen ja suunnittelun aikana kerättyä referenssimateriaalia. Myös 3D-mallin topologiaa suunniteltiin hartaasti jo etukäteen ennen varsinaista mallinnusvaihetta. Kissasta otettiin paljon valokuvia, joita käytettiin ortografisten mallikuvien tekemisen tukena. Kuvattuja referenssikuvia tarvitaan myös myöhemmin 3D-mallin teksturointivaiheessa.

Varsinainen toiminnallinen osuus alkoi referenssimateriaalin hankkimisella. Kissaa kuvattiin eri kuvakulmista mallikuvien tekemistä varten. Mallikuvat työstettiin valmiiksi GIMP-ohjelmistolla ja niitä käytettiin mallintamisen tukena Blenderissä, ja sen jälkeen vielä teksturoinnin tukena GIMP:ssä.

Ennen mallikuvien piirtämistä GIMP-ohjelmistossa oli kissasta saatava paljon valokuvia niiden referenssimateriaaliksi. Kuvien täytyisi olla useasta eri kuvakulmasta sekä tarpeeksi selkeitä, jotta turkin värityksen yksityiskohdista saisi selkeän käsityksen. Kissasta saatiin kuvattua useampia piirtämisvaiheessa hyödyllisiä valokuvia avustajia ja herkkupaloja hyödyntämällä (kuva 12).



Kuva 12. Kissan houkuttelua referenssimateriaalikuvaan.

6.3 Mallikuvien tuottaminen

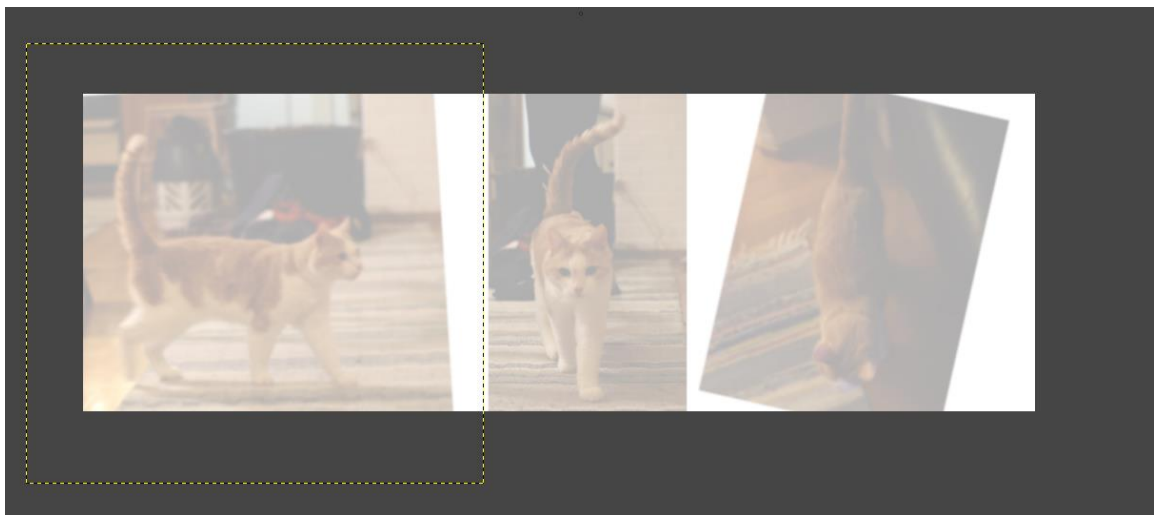
Ennen 3D-mallinnukseen siirtymistä olisi tuotettava tarpeeksi kattavat referenssikuvat 3D-ohjelmistossa hyödynnettäväksi. Mallikuvien työstämistä varten käytettiin GIMP-kuvankäsittelyohjelmistoa.

Uutta kuvatiedostoa luodessa GIMP pyytää määrittelemään resoluution. Mallikuvien kuvatiedoston resoluutioksi määriteltiin 1500*500 resoluutio, jotta kolme 500 pikselin levyistä ja 500 pikselin korkuista referenssikuvaa mahtuisi vieretysten samassa mittasuhteessa.

Uuden tiedoston luomisen jälkeen ohjelmistoon tuotiin aikaisemmin kuvatuista valokuvista parhaiten referenssiksi soveltuvat kuvat erilliselle tasolle GIMP-ohjelmistoon. Kuvien tuomisen jälkeen ne aseteltiin omille tasoilleen, samalla määrittäen uudelleen kuvien kokoasetukset niin, että ne ovat toisiinsa suhteessa hyvin asemoitu ennen piirtämisen aloittamista.

Kun käytettiin lähdemateriaalina itse kuvattuja valokuvia, oli otettava huomioon kuvien perspektiivi ja se, että 3D-mallintamisen referenssikuvissa olisi hyvä välttää perspektiiviä. Yleensä mallikuvat tuotetaan ilman perspektiivin luomaa vääristymää, jolloin mallin kuvakulmien välisiä yhteneväisyyksiä on helppo verrata keskenään.

Mallikuvia varten kissasta tarvittiin mahdollisimman käyttökelpoinen kuva suoraan edestäpäin sekä suoraan sivulta katsoen. Näiden lisäksi suoraan yläpuolelta kuvattu kuva olisi hyödyllinen mallinnusvaiheessa referenssinä (kuva 13).

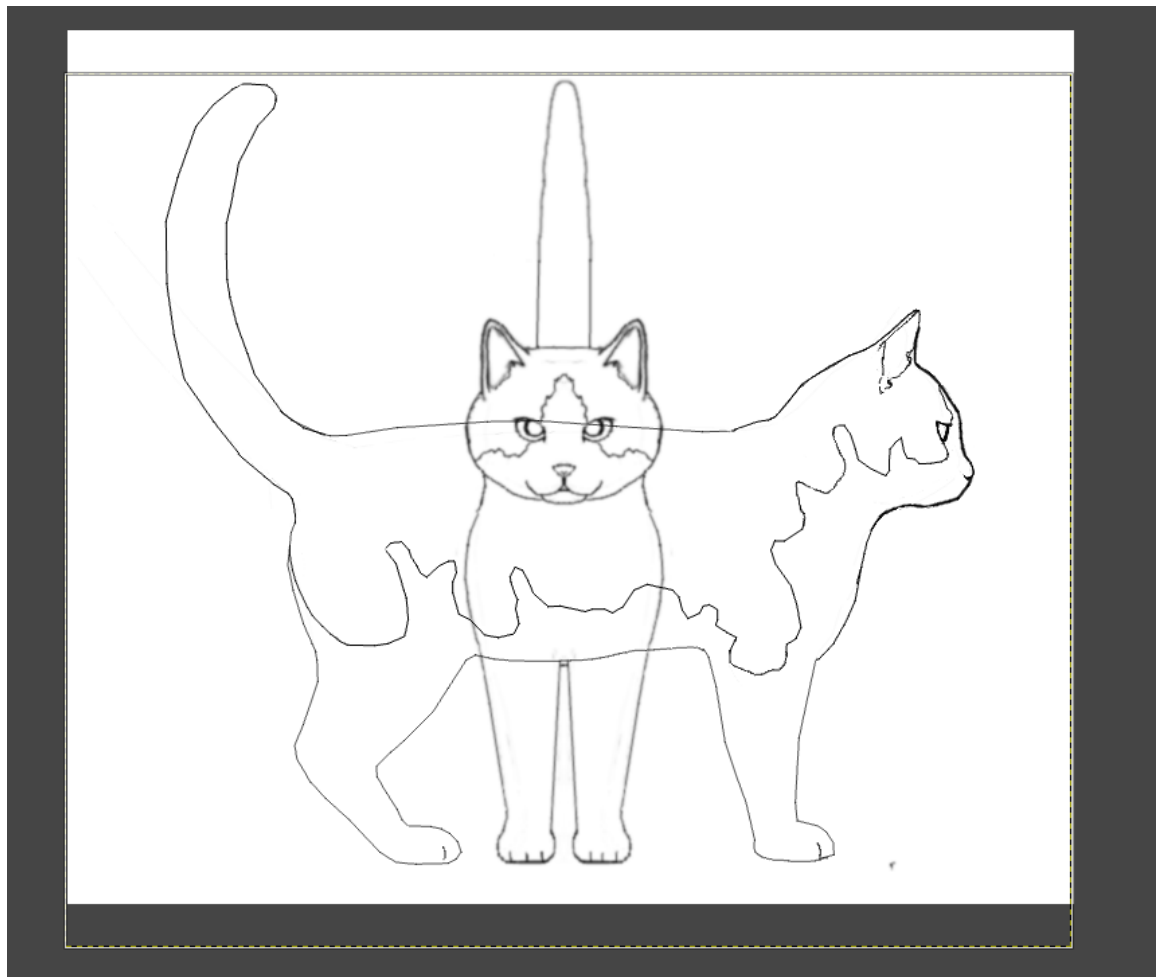


Kuva 13. Työvaihe GIMP-ohjelmistossa, juuri ennen mallikuvien piirtämistä.

Digitaaliset kuvat voi raahata ja pudottaa GIMP-ohjelmistoon suoraan kansiohierarkiasta. Kuvien asemointia ja kokoa voidaan säätää GIMP:ssä helposti käyttämällä Unified Transform-työkalua liitettyjen kuvien koon muokkaamiseen luodussa kuvatiedostossa. Liitettyjä kuvia voidaan kääntää ja kiertää käyttäen Rotate-työkalua.

Seuraavaksi kuvien läpinäkyvyyttä lisätään muuttamalla kuvien tason Opacity-lukemaa. Digitaalikuvien päälle luodaan vielä uusi tyhjä taso, johon kissahahmoa hahmoteltiin käyttäen sivellintyökalua.

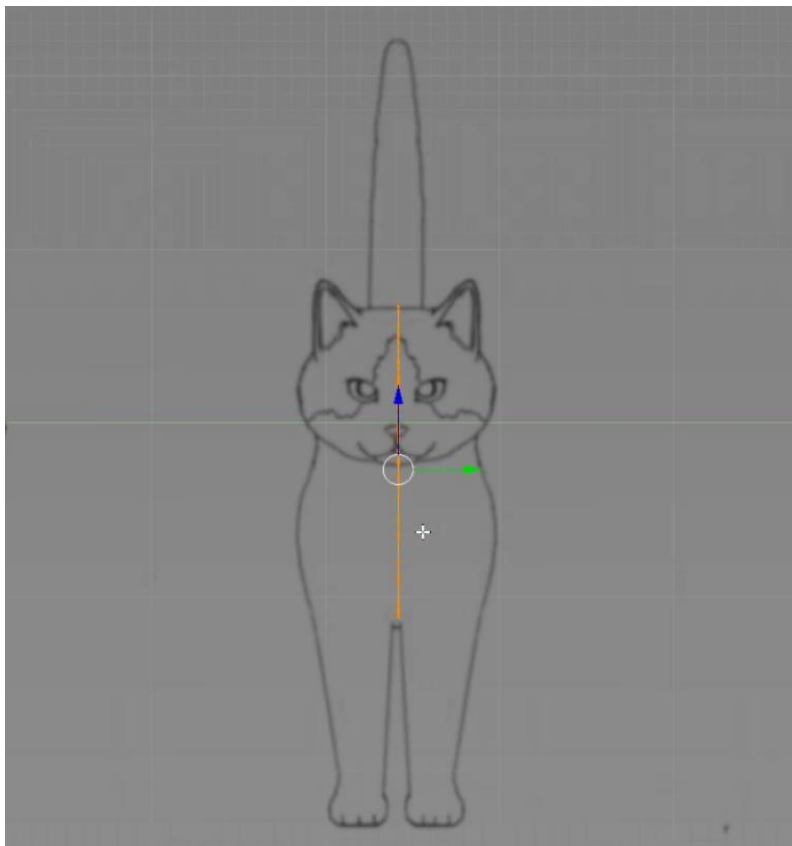
Mallikuvien piirtäminen aloitettiin edestäpäin. Kissasta hahmoteltiin referenssikuvien perusteella ensin vasemman puolen geometriaa, joka voitiin myöhemmin peilata GIMP:stä löytyvällä peilaustyökalulla symmetrisen mallikuvan aikaansaamiseksi. Seuraavaksi kissa tultiin kuvailemaan referenssikuvien perusteella suoraan sivustapäin (kuva 14). Tässäkin kuvakulmassa jouduttiin käyttämään apuna montaa referenssikuvaa, koska kissasta on lähes mahdotonta saada täydellistä referenssikuvaksi kelpaavaa valokuvaa otettua.



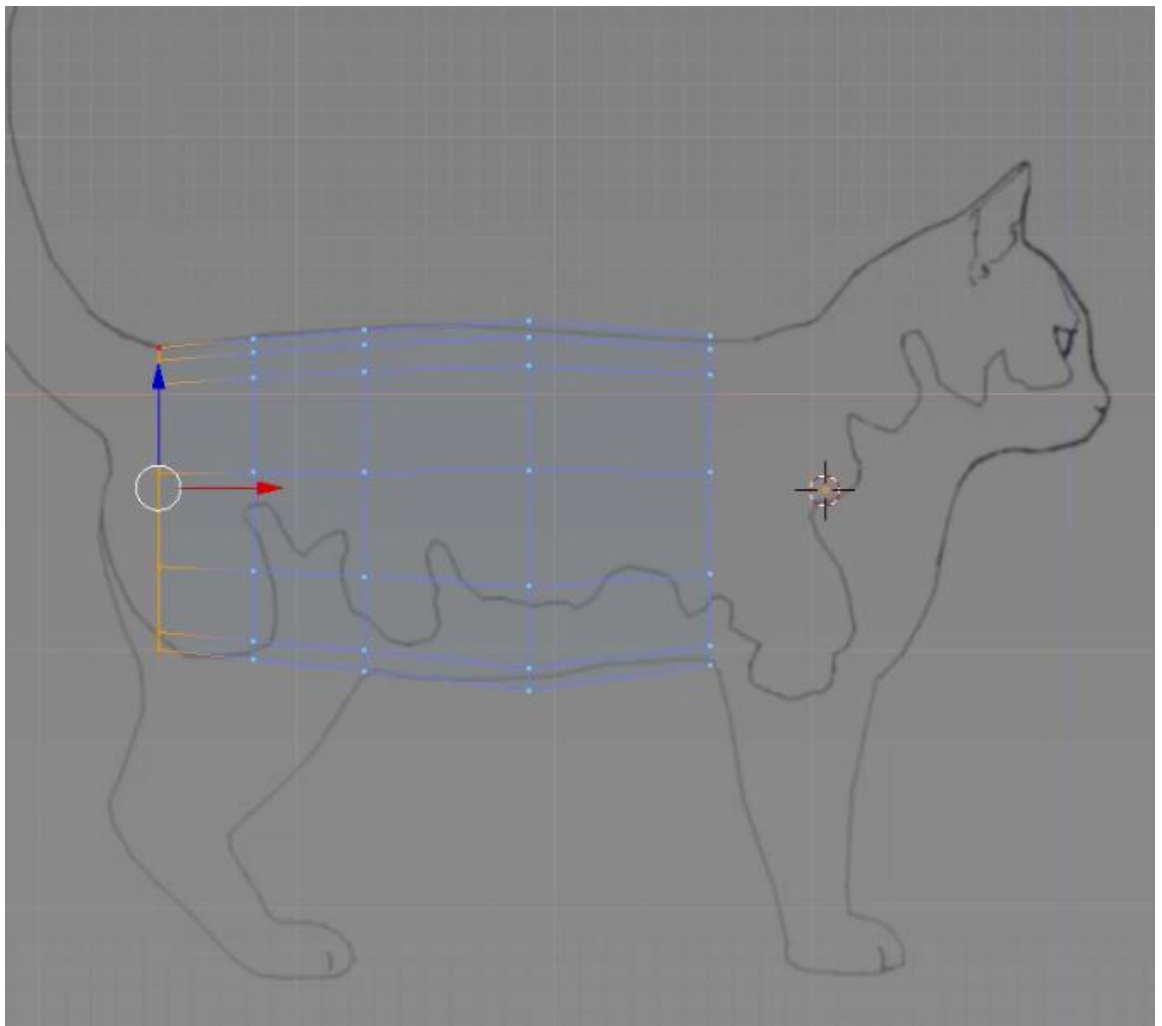
Kuva 14. Kissan mallikuvien tekemistä GIMP:ssä. Kahden kuvakulman tasot ovat aseteltuna päällekkäin kuvakulmien yhteneväisyyksien vertailun vuoksi.

7 3D-mallintaminen Blenderillä

Seuraavaksi aloitettiin low-poly meshin mallintaminen Blenderillä. Mallintamisen apuna käytetään moderneja metodeja, kuten peilimodifikaattoria, ja pyritään jo alusta asti myöhemmin hyvin deformoituvaan eli hyvin liikettä ja muodonmuutosta kestävään 3D-malliin. Matalapolygonista 3D-mallia tehtäessä pyritään välttämään turhia verteksejä. Uuden 3D-mallin työstäminen aloitettiin aiemmin työstettyjen mallikuvien asettelemisella Blenderiin raahaamalla ne kansiohierarkiasta 3D-näkymään. Mallikuva on aina näkyvillä, kun työskennellään 3D-näkymän ortografisessa perspektiivissä. Mallikuva helpottaa oikeanlaisen topologian tuottamista (kuva 15). Varsinainen mallinnus aloitetaan lisäämällä uusi taso, joka asemoidaan pystysuunnassa mallikuvan keskelle (kuva 16). Luotu taso jaettiin koostumaan useammasta polygonista, joiden asemointia muuttamalla mallinnusprosessi pääsi varsinaisesti käyntiin (kuva 16).



Kuva 15. Luotu taso asetellaan keskelle edestäpäin kissaa kuvaavaa mallikuvaa. Tämä helpottaa myöhemmin peilimodifikaattorin kanssa työskentelyä.

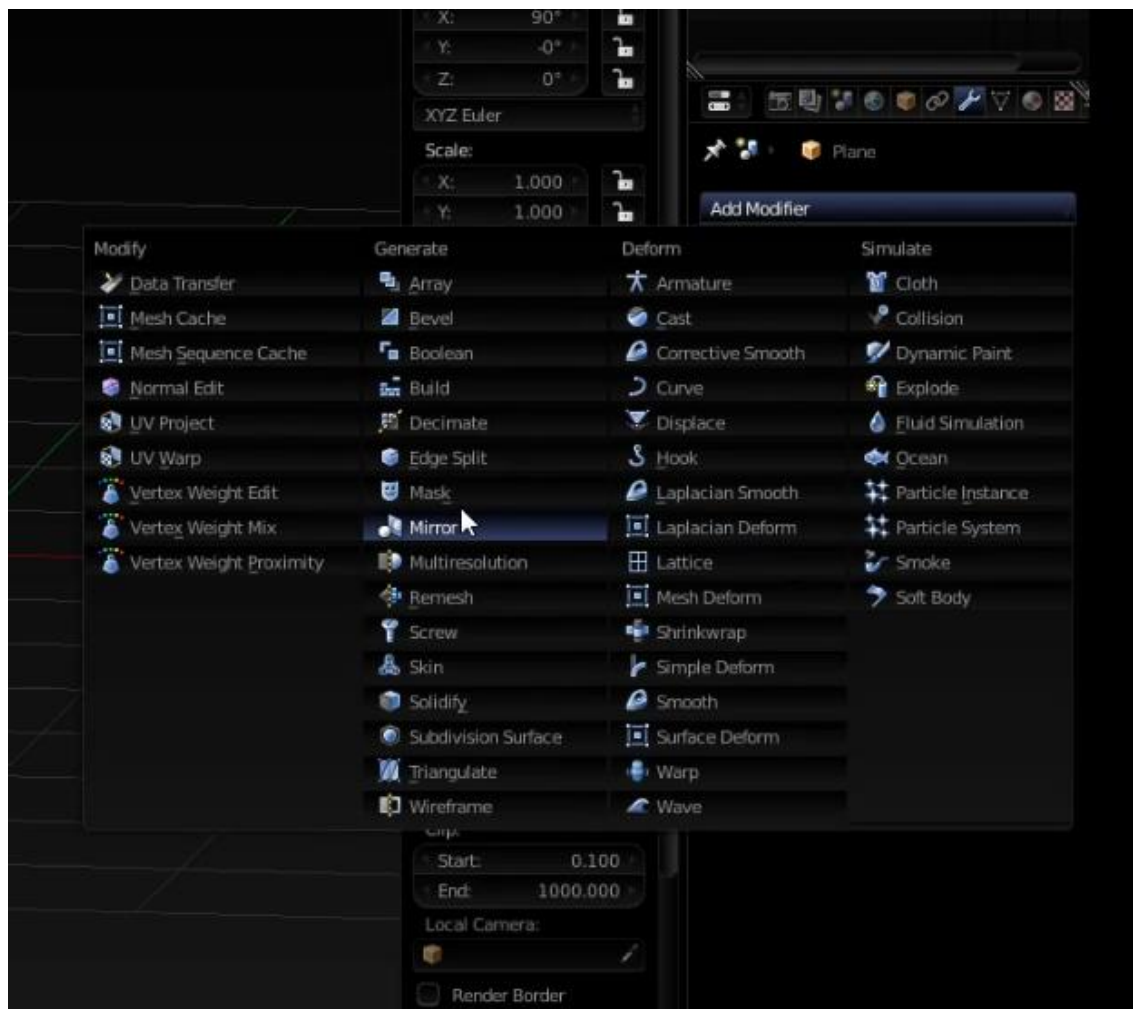


Kuva 16. Aluksi luotu taso on jo tässä vaiheessa jaoteltu koostumaan useammasta polygonista. Näin syntyneiden verteksin sijaintia muuttamalla eläinmallin perusmuoto alkaa hiljalleen hahmottua.

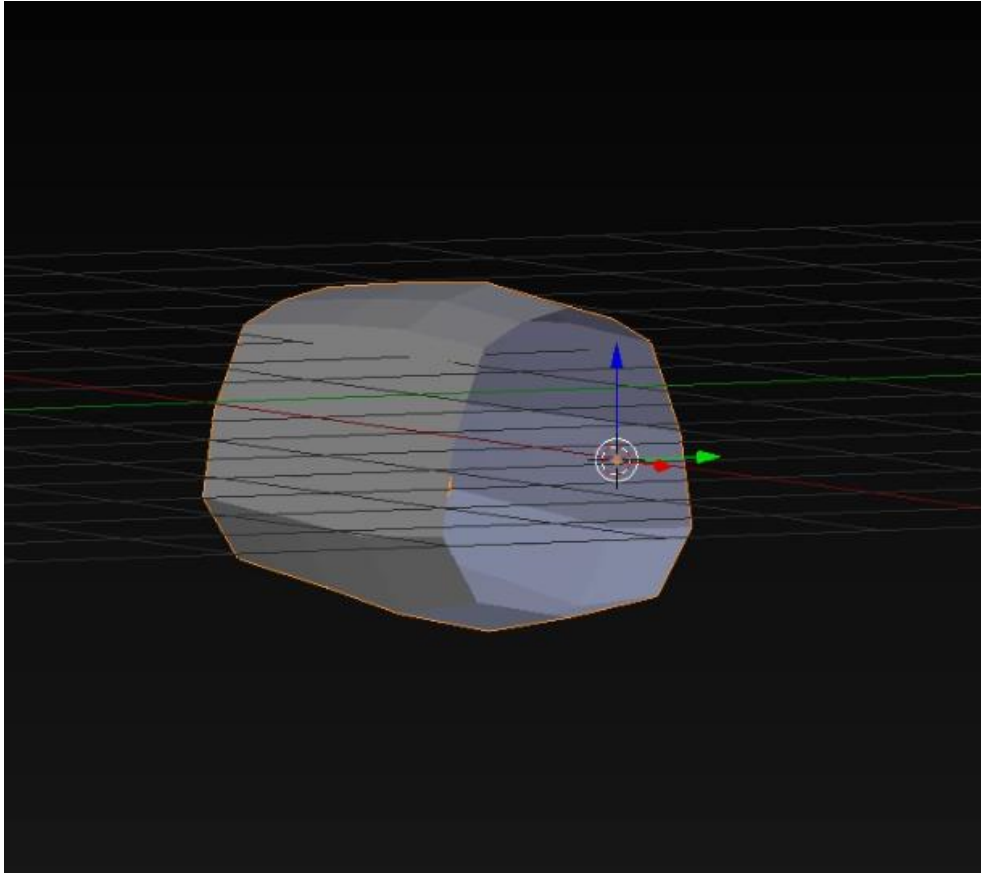
7.1 Peilimodifikaattori

Peilimodifikaattori mahdollistaa symmetrisen objektin kanssa työskentelyn, ilman että muutosta tarvitsee tehdä kummallekin puolelle erikseen. Peilimodifikaattori otettiin käyttöön aikaisessa vaiheessa, jotta kokonaisuuden visualisoiminen olisi helpompaa (kuva 17, kuva 18). Mallinnuksen

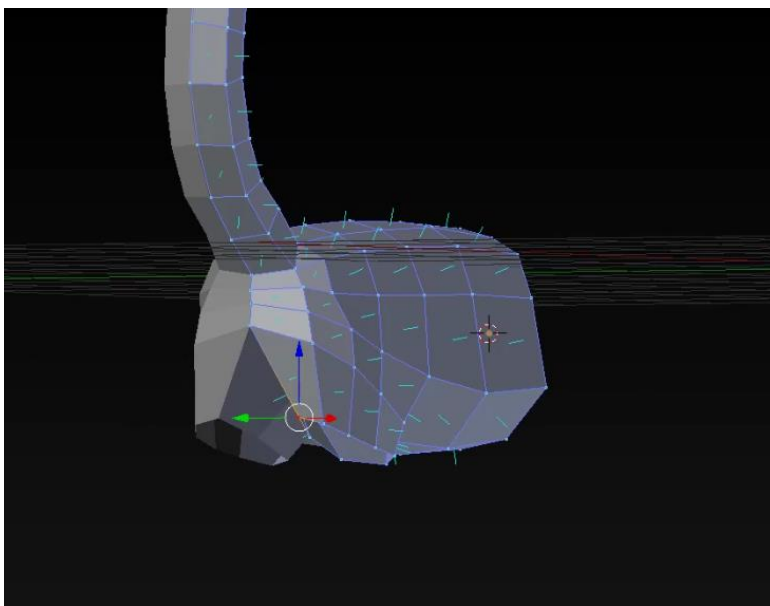
edetessä kuvakulmaa vaihdeltiin sivuprojektion ja edestäpäin kuvatun välillä, vaihtamalla kuvakulmaa tasan 90 asteen käännöksillä. Verteksien kanssa työskenteleminen on helpompaa, koska suoraan eteenpäin projisoituvan akselin heittälystä ei tarvitse huolehtia verteksejä liikuteltaessa. Topologia muodostui pikkuhiljaa, eikä lowpoly-mallinnuksessa kannata kiirehtiä. Yksittäisten verteksien siirtely oli hahmon mallintamisen edetessä jo tuttua puuhaa (kuva 19). Kissan takatassu mallinnettiin mukailen mallikuvien tarjoamaa viitekehystä (kuva 20). Takapään mallinnus kokonaisuudessaan sujui ongelmitta (kuva 21).



Kuva 17. Peilimodifikaattori lisätään käyttöön.



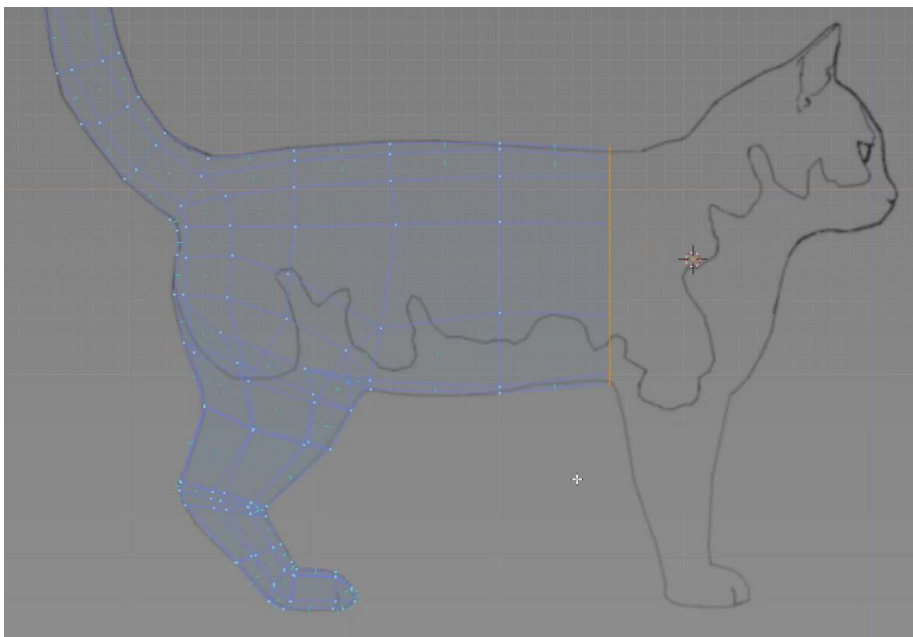
Kuva 18. Lisätty peilimodifikaattori yhdistää aiemmin muotoillun topologian yhteneväiseksi.



Kuva 19. Kuvassa työskennellään peilimodifikaattoria apuna käyttäen. Kissan takajalkojen ekstruusiota varten on muodostettu kahdeksasta verteksistä muodostuva lähtökohta.



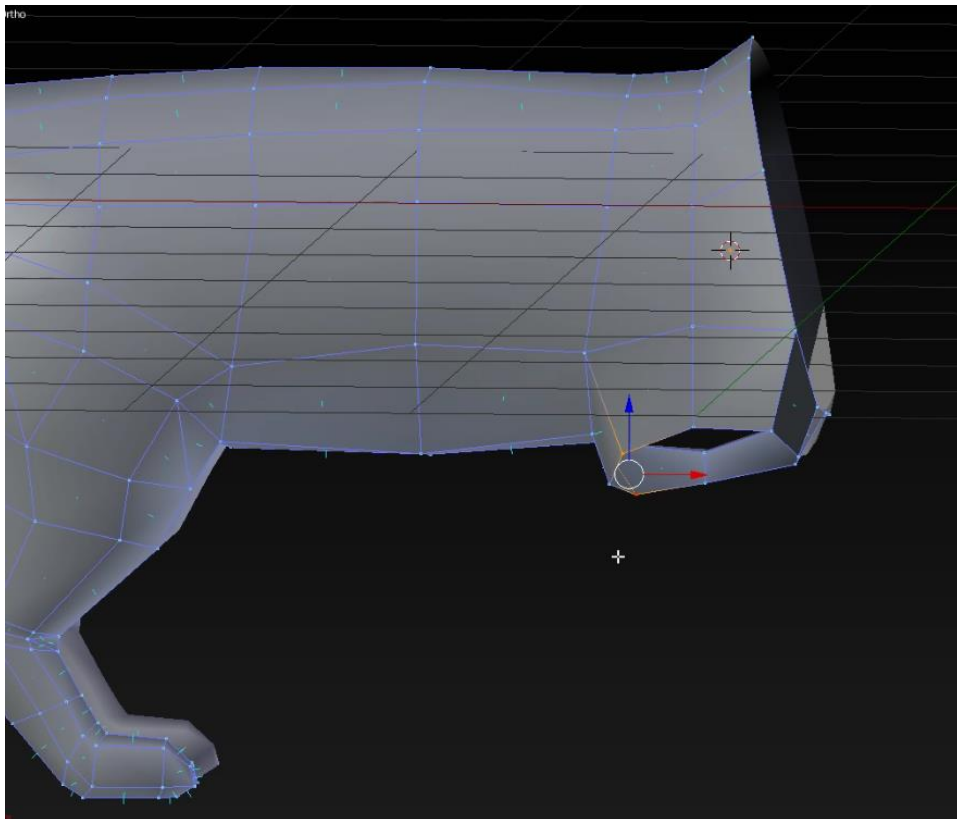
Kuva 20. Takajalka toteutettiin ortografisesta sivukuvakulmasta ekstruusiolla ja syntyviä reuna-
kierroksia skaalaamalla. Kuvassa on tassunpään mallinnus meneillään.



Kuva 21. 3D-mallin työstämistä mallikuvan ääriviivoja mukailten.

7.2 Etutassujen mallintaminen

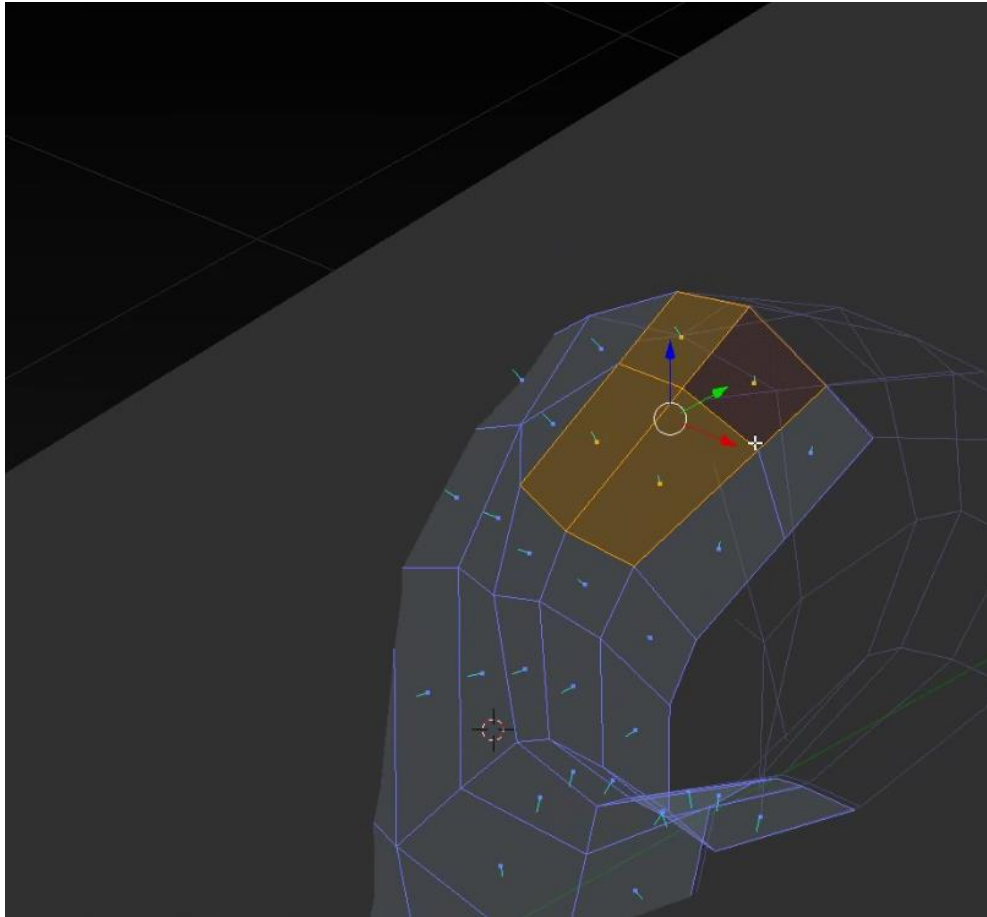
Kun takajalat ja häntä saatiin mallinnettua, oli aika siirtyä kissan etupuolen mallintamisen pariin. Kissan etutassuja varten meshiin tehtiin kahdeksan verteksiä kattava aukko. Syntyneestä aukosta etujalan mallintaminen tassunpään aukon reunojen geometriaa hyödyntämällä onnistui hyvin (kuva 22). Mallintamisen työnkulku oli sujuvaa, kun kuvakulmaa vaihtoi aika ajoin mallikuvien perspektiiviä vastaavaksi. Mallikuvien ääriviivoja mukailten tuotettu topologia on tarkoituksenmukaista. Jo tässä vaiheessa oli kuitenkin pidettävä mielessä myöhemmin tapahtuva animoiminen ja riggaaminen. Myöhemmin mallia liikuteltaessa vältetään ongelmilta, jos työn alla olevan mallin nivelet otetaan huomioon mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.



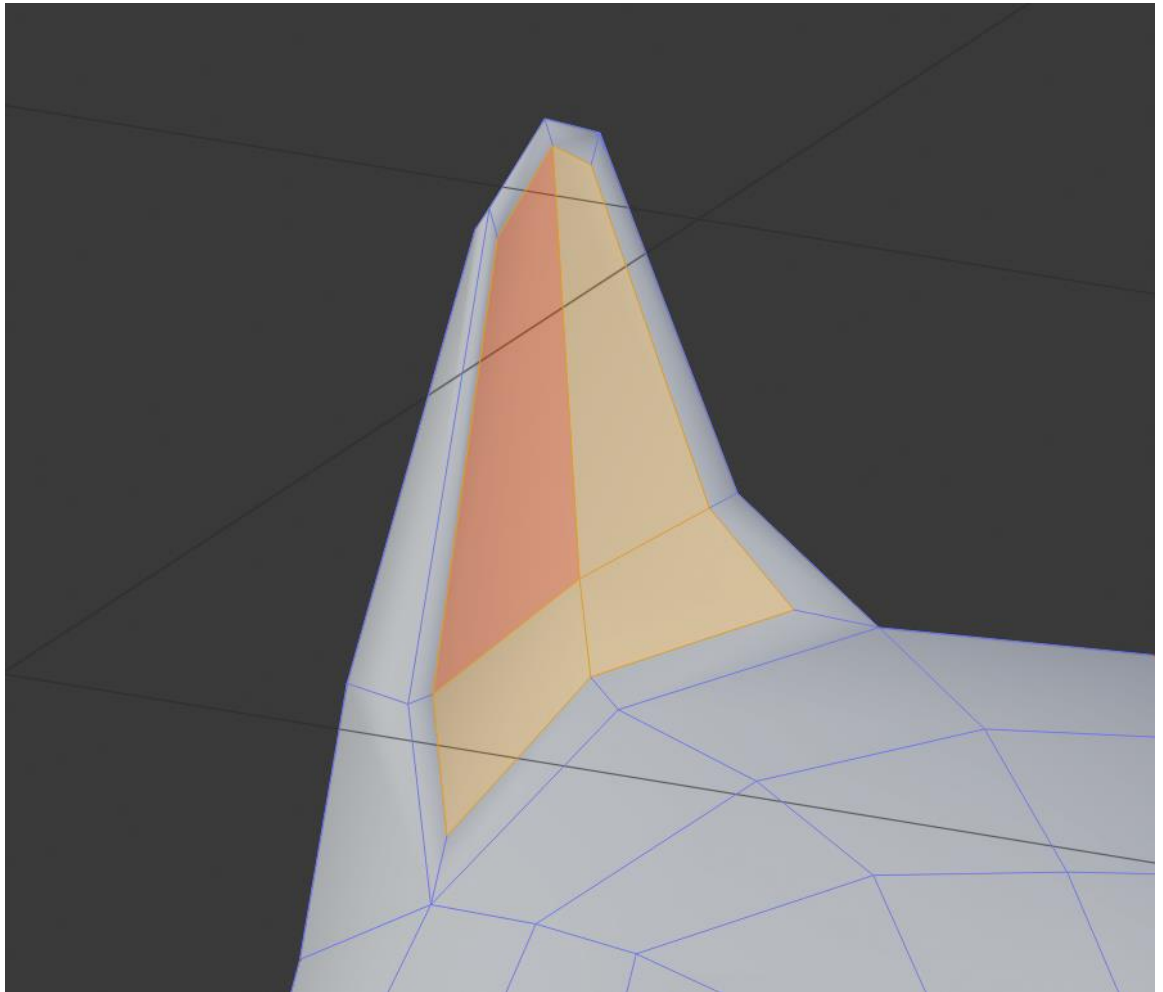
Kuva 22. Etutassun ekstruusio onnistuu varta vasten tehtyä aukkoa hyödyntämällä. Aukko on tehty poistamalla neljä sivua ja muokkaamalla yksittäisten verteksin sijaintia.

7.3 Kaulan ja pään mallintaminen

Seuraavaksi kissan mallintamisprosessissa edettiin kaulan ja pään pariin. Ensin mallinnettiin yksinkertaisimmat vaiheet, kunnes topologian puolesta tarvittiin erityistä huomiota. Esimerkiksi korvien paikka täytyi miettiä tarkasti, jotta välttyttäisiin turhilta vertekseiltä, mutta päädyttäisiin silti topologialta mahdollisimman kissan muodolle oikeutta tekevään lopputulokseen. Päälaen korkeudelle saavuttaessa aloitettiin kissan korvien mallintaminen. Kissan korvat lähdettiin muotoilemaan tarkoin asemoiduista neljästä sivusta ekstruusiomallintamalla sivujen pinnasta ylöspäin. Sivuja valittiin neljä, jotta korville saataisiin tarvittavaa muotoa aikaiseksi (kuva 23). Korviin tehtiin myös erillinen syvennys sisennystoiminnolla (kuva 24).

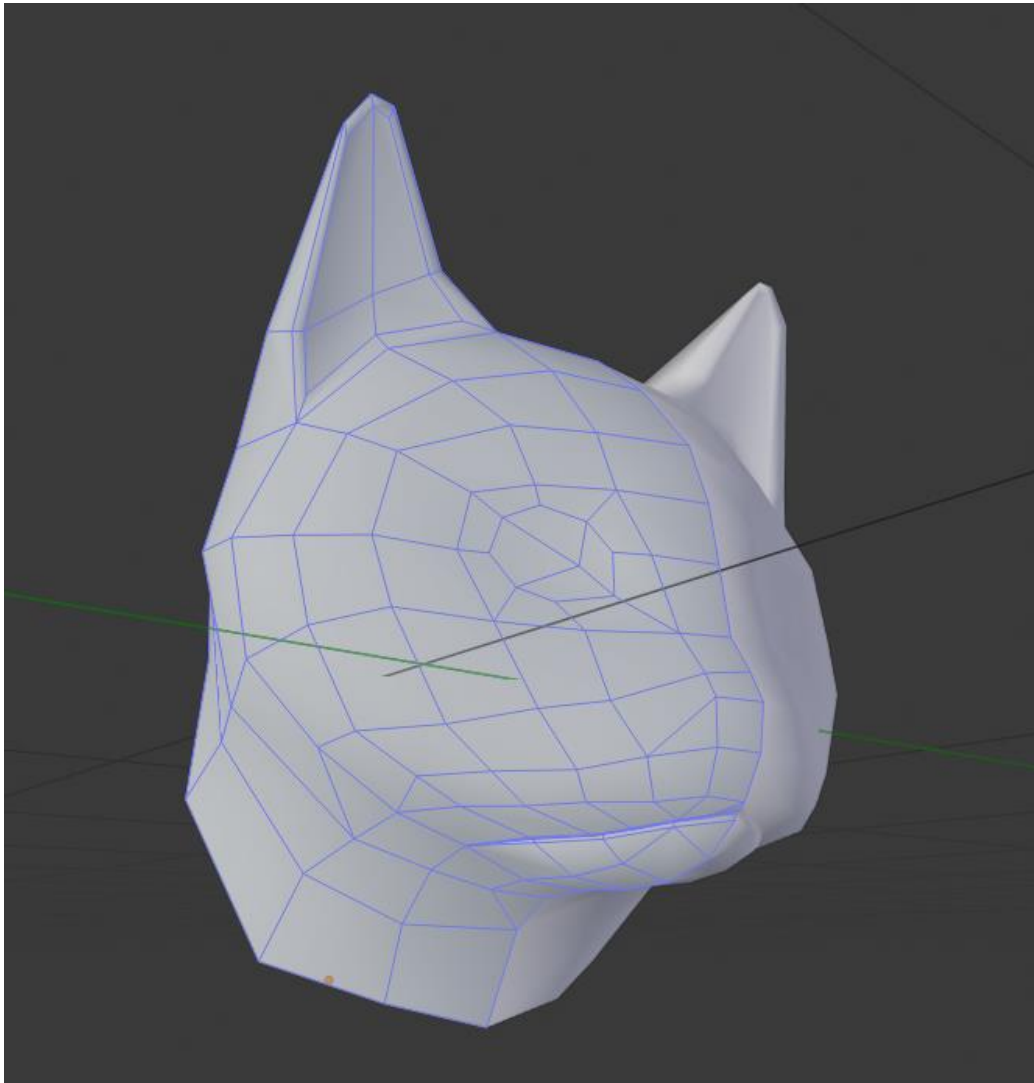


Kuva 23. Kissan korvat mallinnuksen alla. Valittiin neljä sivua, joista ekstruusion keinoin muotoilaan eläimen korvia vastaava topologia.



Kuva 24. Hahmon korviin mallinnettiin sisennys valitsemalla neljä sivua, joita sitten siirrettiin hie-
man sisäänpäin korvien muodon korostamiseksi.

Kissahahmon pään mallintamiseen käytettiin rauhassa aikaa. Aikaa kului varsinkin yksittäisten verteksien asetteluun. Aluksi perusmuoto tuotettiin tutuilla menetelmillä. Eniten vaivaa pään mallintamisessa tuotti sopivan resoluution löytäminen. Polygonimäärän täytyi pysyä kohtuullisena, mutta kissahahmon ääriviivojen tulisi kuitenkin olla joka kuvakulmasta tyydyttävä (kuva 25). Muotoilin kissalle nenänpään ja tein erikseen vielä suun tekemällä leuan kohdalle avoimuuden, josta muokkasin topologiaa sisäänpäin. Syntyneen suun huulten reunoille jätettiin ylimääräinen reunakierros, jotta kissan suu renderöityisi mahdollisimman hyvin ilman visuaalisia virheitä.

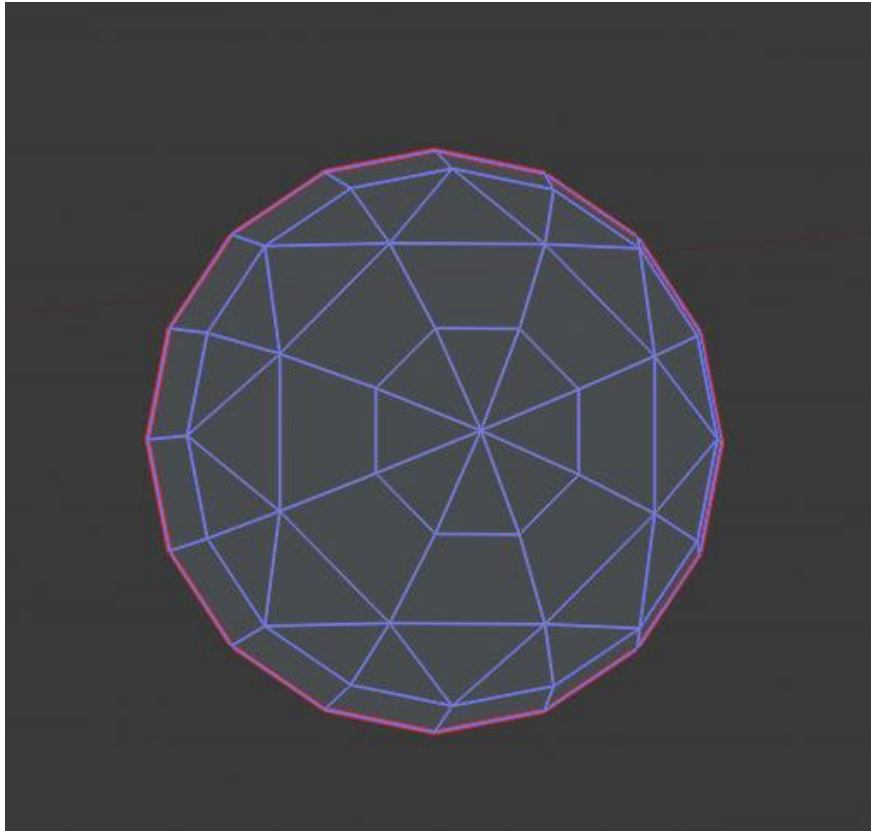


Kuva 25. Kissahahmon pää työn alla. Kuvassa esillä tehty suu, sekä nähtävissä on myös korvan sisennykset. Kuvassa huomionarvoista on myös nenänpään ja silmän alueen topologia.

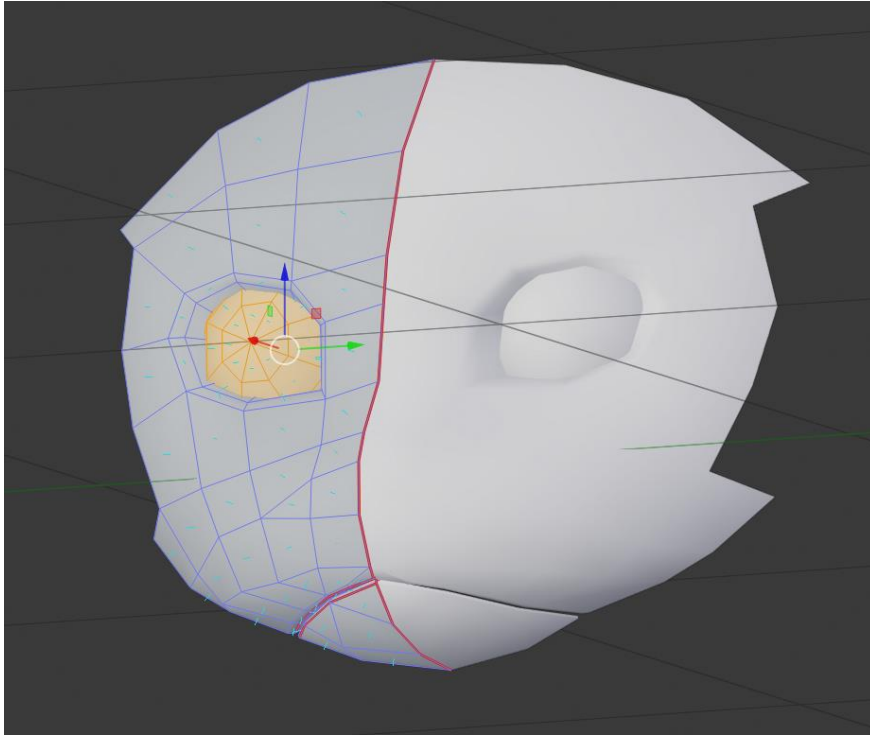
7.4 Silmän mallintaminen

Kissalle mallinnettiin myös silmät lisäämällä pallo objektitilaan. Pallo lisättiin objektimoodissa painamalla shift + a, jonka jälkeen avautuvasta alavetovalikosta valittiin 'lisää uv sphere' (kuva 26). Lisätty pallon geometria vielä optimoitiin käsin yhdistelemällä sivuja sekä puolittamalla geometria. Seuraavaksi uudelle muodolle lisättiin verteksiryhmä, jotta valinnan tekeminen myöhemmin olisi vaivatonta, sillä uusi muoto liitettäisiin osaksi kissahahmon meshiä, joten päällekkäisten

muodon välisiä valintoja on paikoin vaivalloista tehdä. Verteksiryhmän tekemisen jälkeen silmän ja kissan topologiat valittiin aktiiviseksi objektimoodissa ja liitettiin toisiinsa (kuva 27).



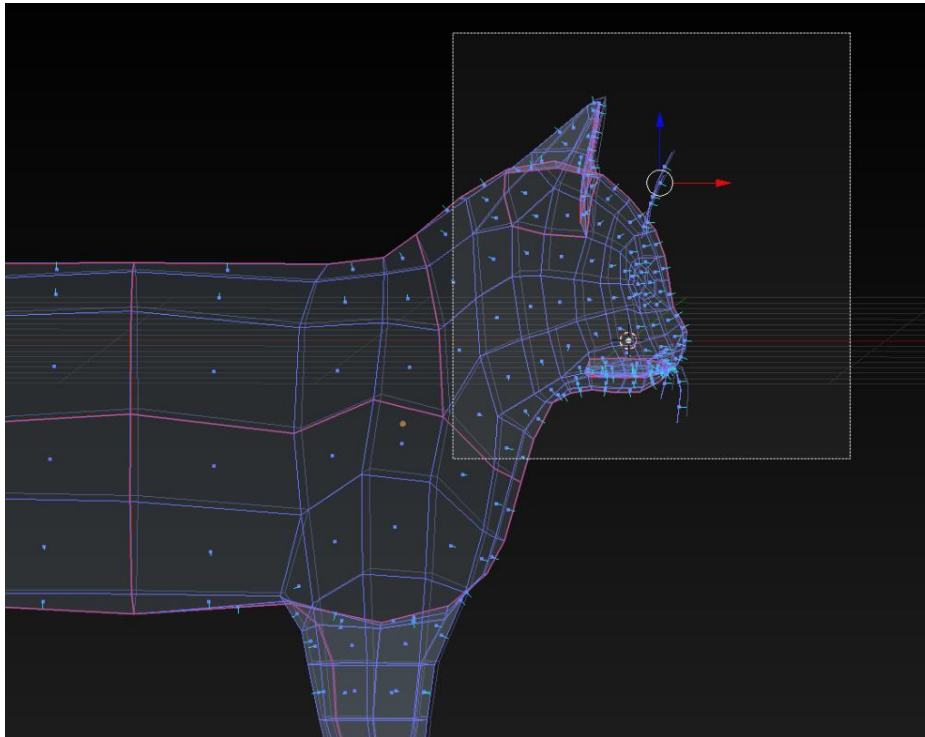
Kuva 26. Kissan silmän geometria on saatu aikaan pallosta (engl. UV Sphere), joka optimoitiin käsin.



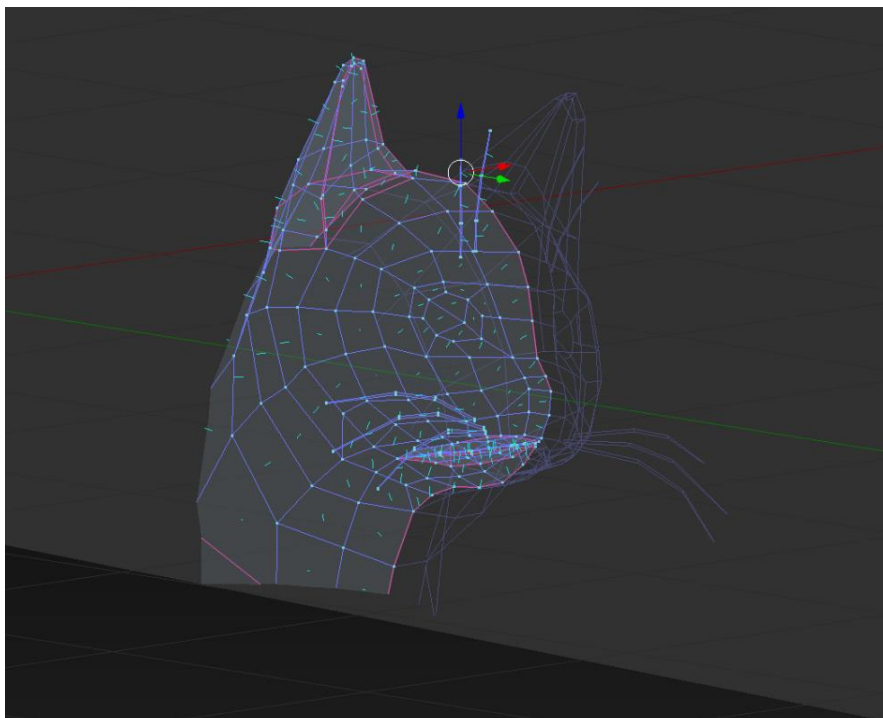
Kuva 27. Mallinnettu silmämuna asetetaan paikalleen.

7.5 Yksityiskohtien lisääminen ja mallin geometrian viimeistely

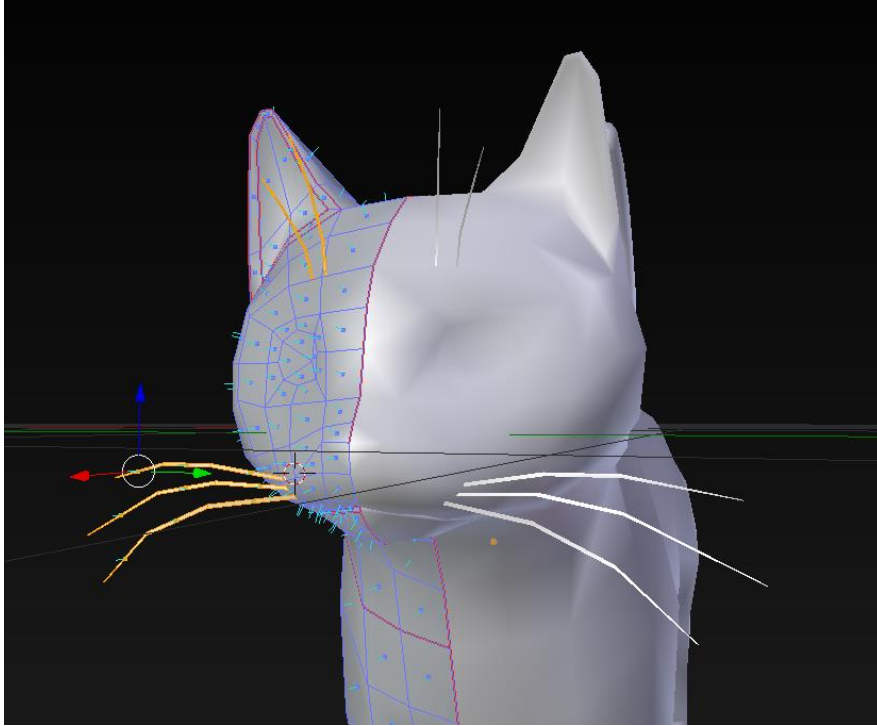
Moniulotteisen 3D-mallin kanssa työskentelyä helpotti Blenderin muokkaustilassa alt + b-näppäinyhdistelmän alta löytyvä toiminto, jolla työskentelyn alla olevan meshin saa pilkottua vain työn alla olevaan osa-alueeseen, muun meshin jäädessä piilotetuksi (kuva 28, kuva 29). Kissalle mallinnettiin myös viikset (kuva 30).



Kuva 28. Painamalla muokkauksissa `alt + b`-näppäinyhdistelmää voi rajata osa-alueen mallista jäämään näkyviin.



Kuva 29. Näkyville jäänyttä mallin osa-aluetta on parempi työstää, kun valinnat ovat selkeämmin esillä. Alt + b-näppäinyhdistelmän käyttö helpottaa etenkin rautalankanäkymässä työskentelyä.



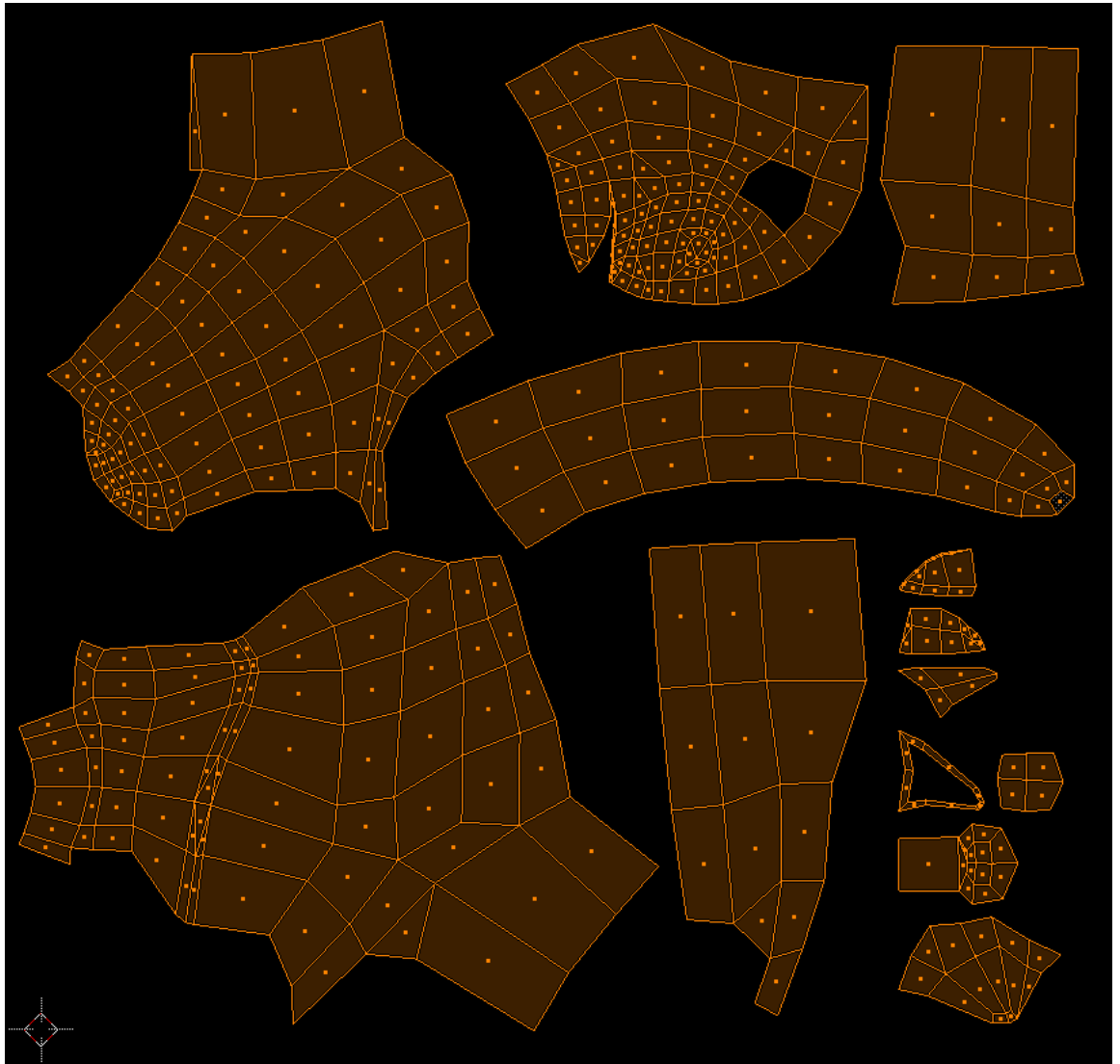
Kuva 30. Kissahahmolle mallinnettiin viikset ekstruusiomallintamisen keinoin. Yksi viiksi koostuu kahdeksasta verteksistä ja kolmesta sivusta. Lopuksi viikset vielä muotoiltiin hahmolle sopivaksi.

8 Teksturointi

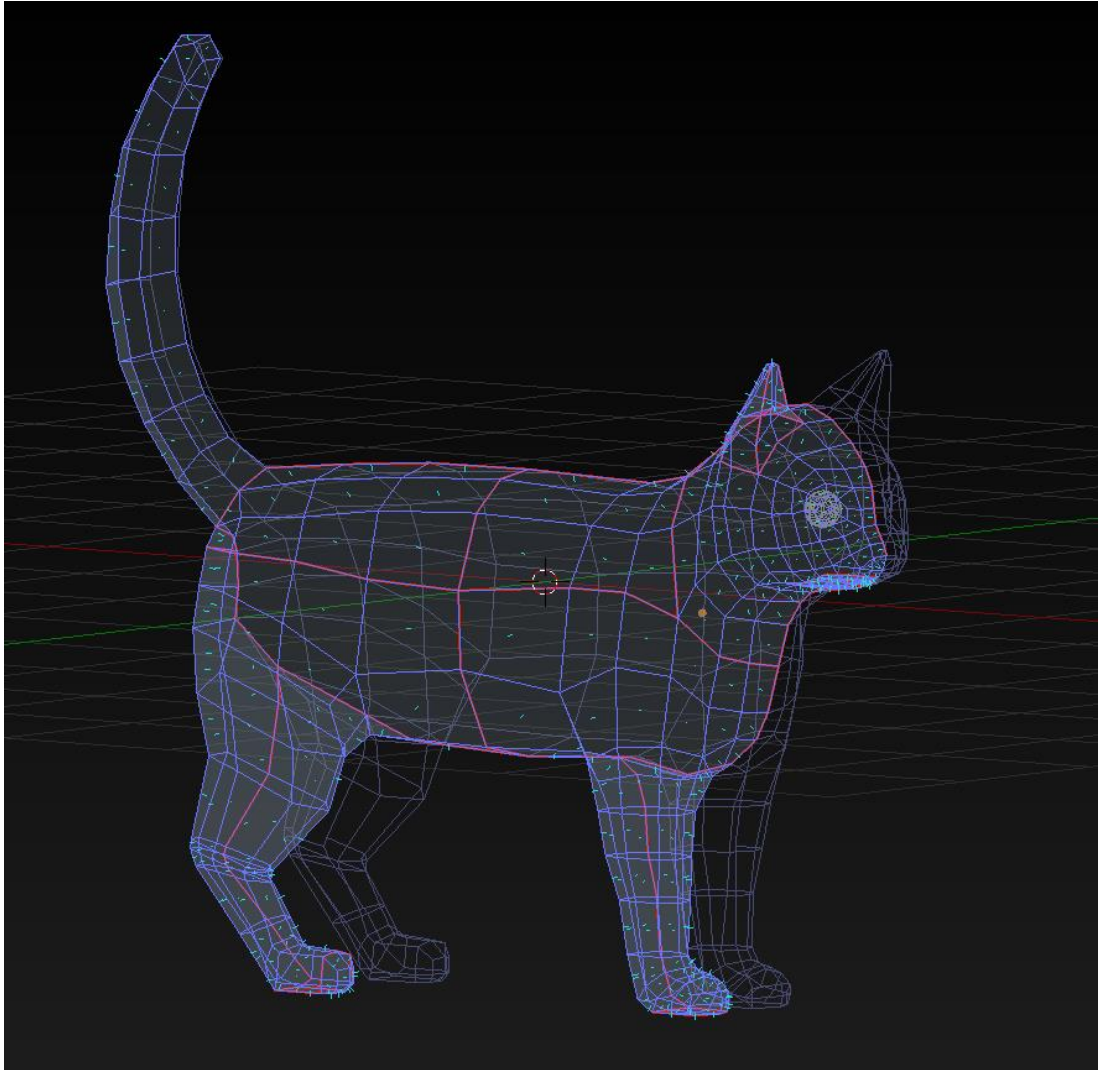
Teksturointivaiheessa työskentelyn alla olevalle mallille on merkittävä UV-koordinaatit, jotta UV-kartan tekeminen on mahdollista. UV-kartta on 3D-mallin topologian pinnan kaksiulotteinen projektiio, joka on segmentoitu UV-saarekkeisiin, joihin 3D-mallin pinnan eri osa-alueet on määritelty (kuva 31). Tekstuurikartta määrittyy UV-kartan mukaan. Varsinainen teksturointivaihe suoritetaan suoraan Blender ohjelmiston Tekstuurin maalaus -työkaluja apuna käyttäen.

8.1 UV-kartoittaminen

Teksturointiprosessin ensimmäisessä vaiheessa työn alla olevaan malliin merkitään UV-saumot myöhempää Unwrap-vaihetta varten (kuva 32). UV-saumojen paikat täytyi miettiä tarkasti alusta asti, jotta työstettävä tekstuurikartta projisoituu tasaisesti 3D-mallin pinnalle eikä näytä vääristyneeltä, kuten esimerkiksi venyneeltä. Kissamallin ollessa sivuakselillaan symmetrinen peilimodifikaattorin käytön vuoksi vain puolelle mallista täytyi määrittää UV-saumot. Näin myös tekstuurikartan resoluution hyödyntäminen on kaksinkertaista verrattuna peilaamattomaan malliin.



Kuva 31. Kissahahmon UV-kartan visualisointi. Aiemmin merkityt UV-saumot purkavat hahmon kaksiulotteiselle tasolle kuvassa näkyvällä tavalla. Visualisoinnista on mahdollista hahmottaa yksittäiset sivut.

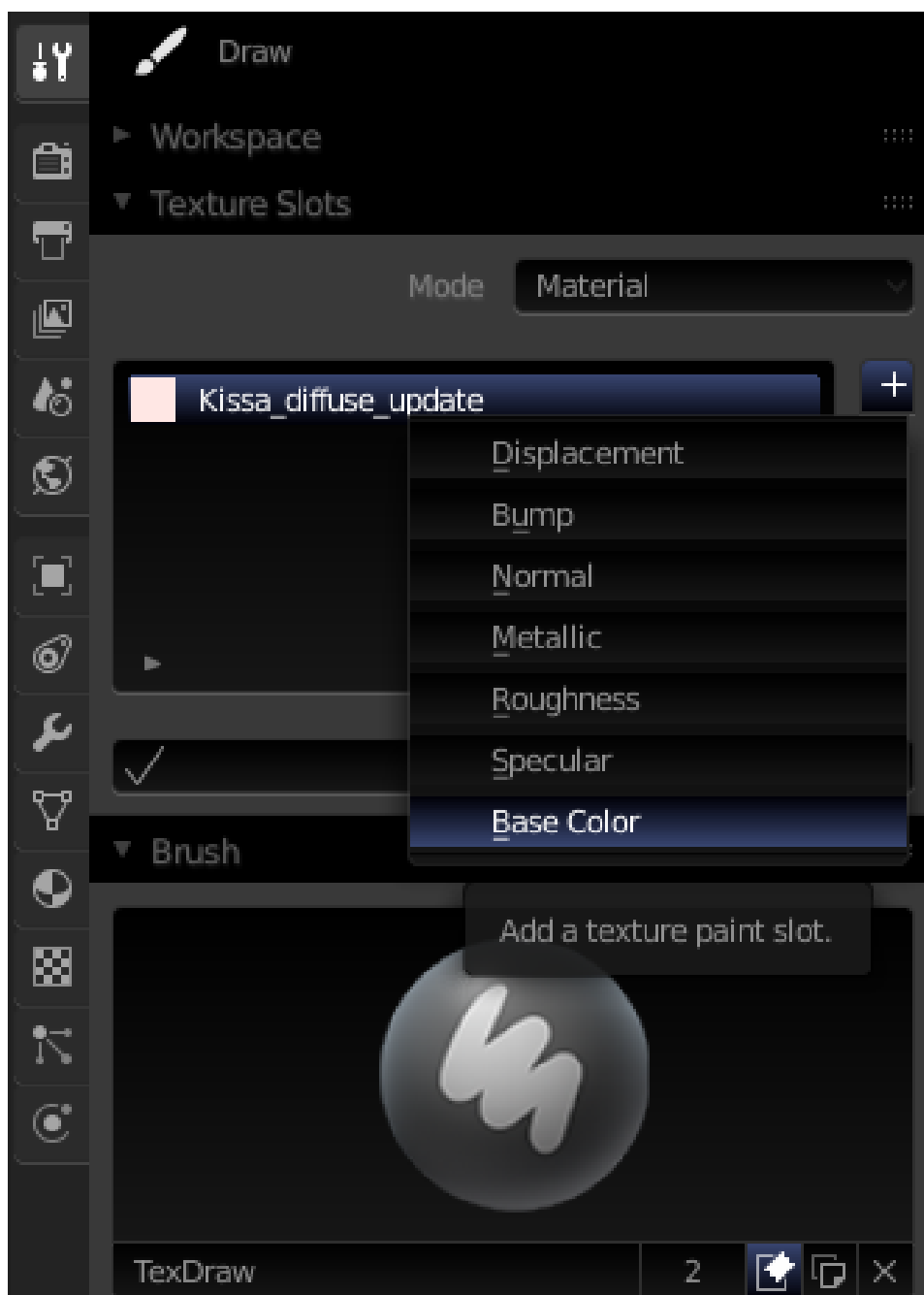


Kuva 32. Kissamallin UV-saumat näkyvät kuvassa punaisella. Toinen puoli 3D-mallista käyttää samoja UV-saumoja peilimodifikaattorin käytön vuoksi.

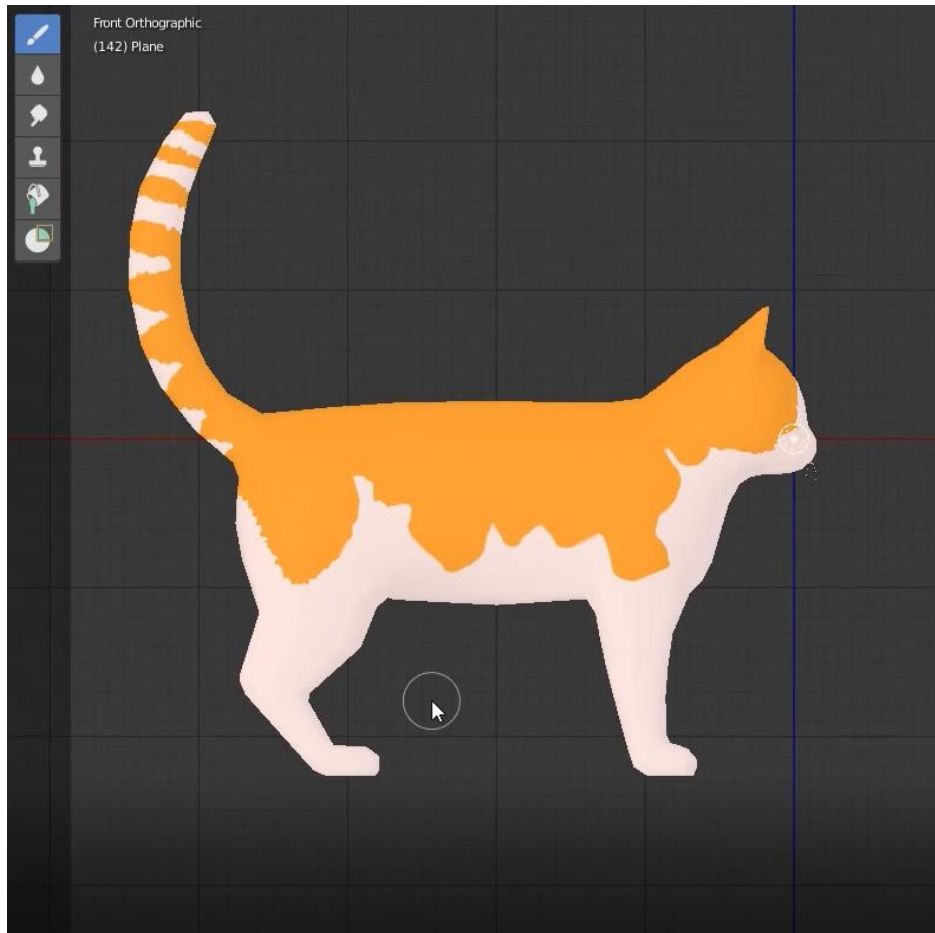
8.2 Tekstuurin maalaaminen 3D mallin pintaan

Teksturointi Blenderissä on tehty helpoksi. Kun työstettävälle mallille oli määritelty UV-saumot, pystyi varsinaisen tekstuurin tekemisen aloittamaan. Aluksi vaihdettiin Blenderissä työtila Tekstuurinmaalauksen tilaksi. Seuraavaksi täytyi määrittää maalauksivaiheessa käytettävä uusi materiaali. Materiaalia luotaessa valitaan Base Color eli pohjaväri, joka määrittää koko mallille pohjaväri, jonka päälle muuta tekstuuria voi alkaa tuottamaan (kuva 33). Uudelle tekstuurille määriteltiin

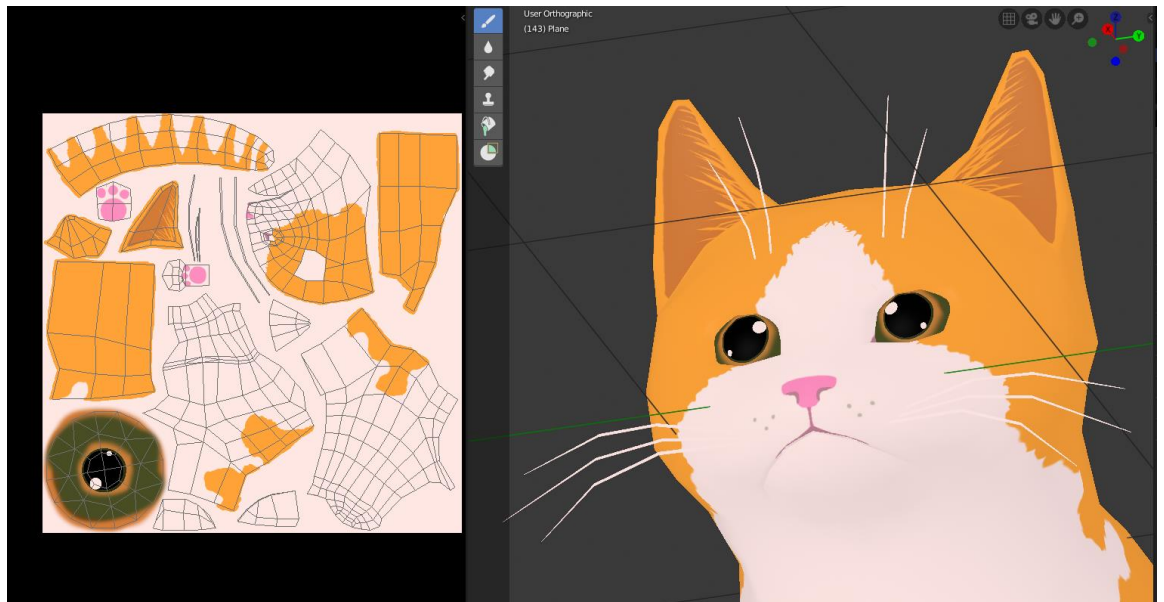
kooksi 2048 * 2048 pikseliä. Opinnäytetyötä tehtäessä Blenderin 2.8-versio oli vielä beta-vaiheessa, mutta se sisälsi paljon tekstuurin maalaamiseen liittyviä uudistettuja ominaisuuksia. Tekstuuri on mahdollista maalata suoraan työstettävän 3D-mallin pinnalle, muutoksien renderoituessa 3D-näkymään reaaliaikaisesti (kuva 34, kuva 35).



Kuva 33. Ennen kuin tekstuurin maalaaminen voi alkaa, täytyi määrittää uusi materiaali ja pohjaväri. Plus-symbolilla merkityn painikkeen alta avautuu alasvetovalikko, josta valitaan pohjaväri valitsemalla Base Color valinta.



Kuva 34. Kissamallin turkin perusvärit työn alla. Tekstuurin maalaus on hauskaa, kun tulokset näkyvät 3D-mallin pinnalla välittömästi.



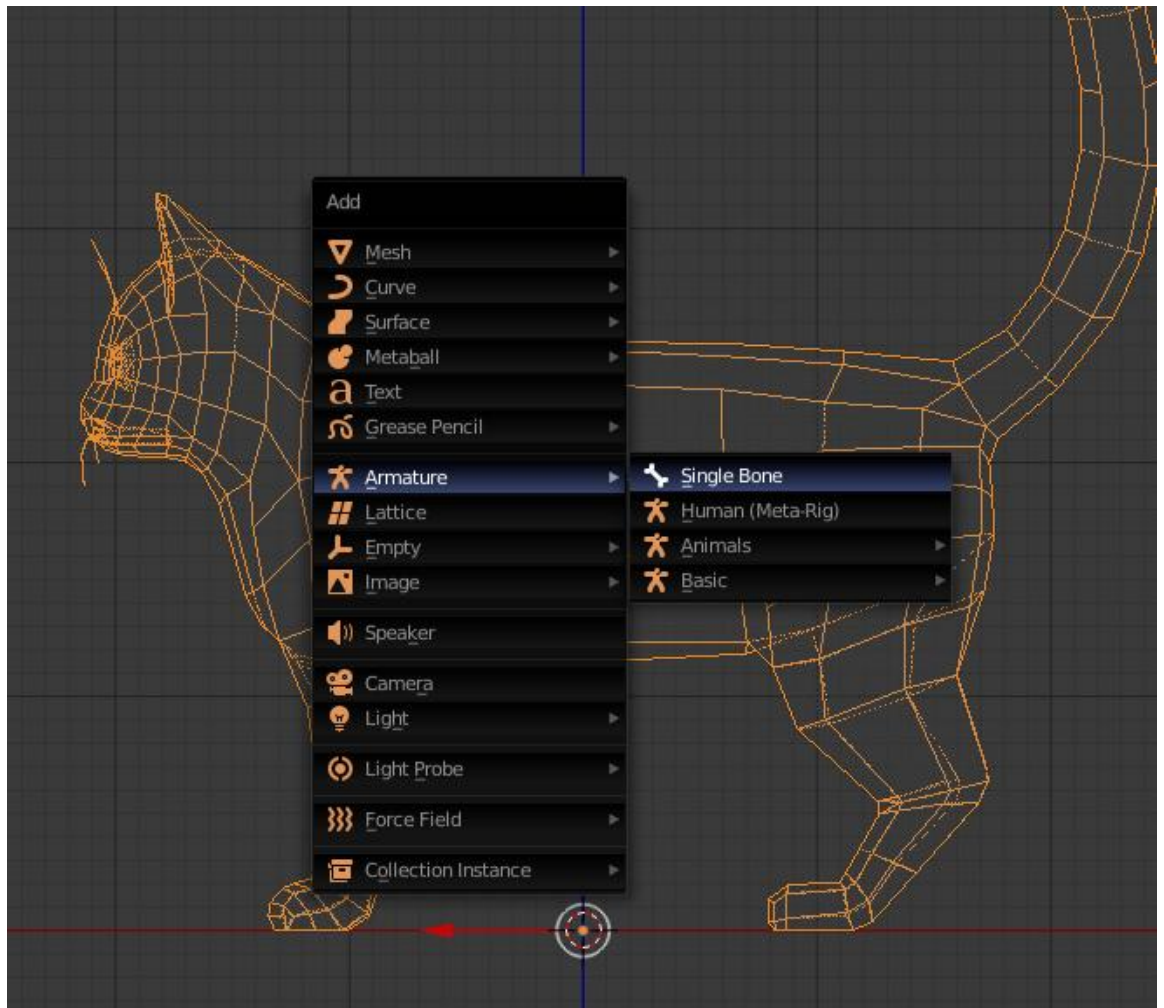
Kuva 35. Kissan yksityiskohtien työstämistä. Tekstuurinmaalaustyötila on jaettu kahteen näkymään. 3D-mallin lisäksi vasemmalta puolelta löytyy tekstuurikartta.

9 Riggaaminen

Teksturoimisen jälkeen seuraava vaihe eläinhahmon tekemisessä oli riggaaminen, eli eräänlaisen luustorakenteen luominen mallin sisään. Luurakenne on ikään kuin luuranko, joka koostuu useista yksittäisistä luista, joita voidaan liikuttaa yksitellen tai useampia kerrallaan (Blender Foundation 2019b). Tämän vaiheen tavoitteena on luoda yksinkertainen rigi kissahahmon liikuttelemista varten (Karan S. 2012). Luustorakenne mukautetaan työstetylle kissahahmolle sopivaksi, jonka jälkeen luodaan luukohtaiset painotukset suhteessa mallin geometriaan, eli kiinnitetään muokattu luuranko 3D-malliin kiinni. Luustorakenteen painotukset määrittelevät, kuinka 3D-malli deformoituu, kun luita liikutellaan. Ensin riggaaminen lähtee liikkeelle luurakenteen muodostamisesta 3D-mallin sisään. Kun luurakenne ja yksittäisten luiden keskeinen hierarkiajärjestys on saatu valmiiksi luukohtaisine ohjaimineen, on aika kiinnittää luustorakenne 3D-malliin. Kiinnittäminen tapahtuu automaattisen toiminnon avulla, mutta sen tulokset toimivat yleensä vain lähtökohtana, ja automaattisten painoarvojen muokkaaminen on yleensä riggaamisessa normaalia. Painoarvoja muokataan erillisessä painoarvojen maalaustilassa, jolla saadaan 3D-mallin deformoituminen suhteessa luiden liikerataan mahdollisimman luonnolliseksi. Kaiken tämän jälkeen on kissahahmo valmiina tulevaisuuden haasteita varten, kuten on tämänkin opinnäytetyön suorittava osuus valmis.

9.1 Luustorakenteen luominen

Ennen kuin ensimmäistä luuta voitiin luoda, täytyi 3D-malli keskittää 3D-avaruuden keskipisteeseen. Työstettävän mallin keskittäminen on osa hyvää työnkulkua, jotta myöhemmissä työvaiheissa tai tulevaisuuden käyttökohteissa ei esiintyisi ongelmia. Ennen riggauksen aloittamista keskittäminen on hyvä suorittaa, sillä mallikuvien käytön vuoksi 3D-malli ei välttämättä ole origossa. Kun malli saatiin keskitettyä, voitiin luustorakenteen luominen aloittaa (kuva 36).



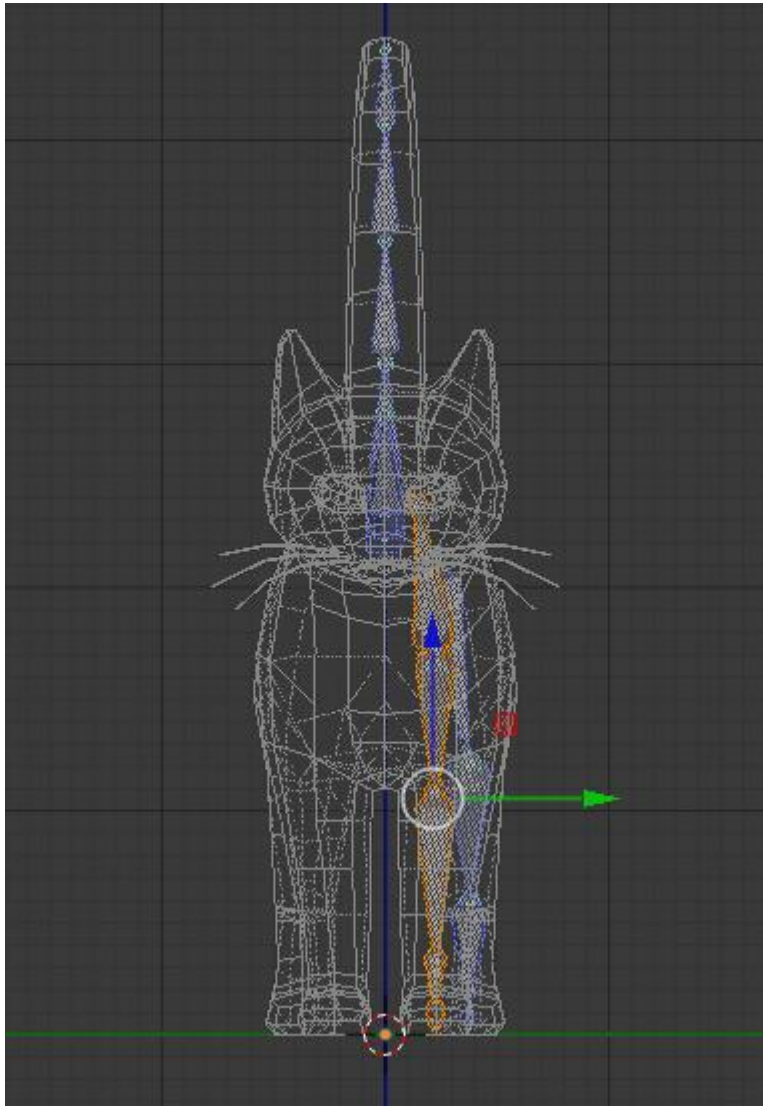
Kuva 36. Luustorakenteen luominen aloitetaan lisäämällä yhden luun Armature-valikosta, joka avautuu painamalla Shift + A-näppäinyhdistelmää.

Kun ensimmäinen luu saatiin lisättyä, siirryttiin muokkaustilaan. Muokkaustilassa ensimmäinen luu siirrettiin kissan hännän tyveen, josta lähdettiin lisäämään luita ikään kuin luurankona kohti eläinhahmon päätä. Uusien luiden lisäämisessä luiden välisellä hierarkialla on paljon merkitystä. Lähtökohtana luustorakenteelle toimi hännän tyveen asetettu luu, eli ikään kuin lantioluu (kuva 37). Tästä luusta ekstruusion keinoin e-pikanäppäintä painamalla lisättiin luita kohti kissan päälakea. Ensimmäisestä luusta jatkettiin myös taaksepäin kissahahmon häntää kohti luomalla luuketju aina hännän päähän asti. Järjestyksellä on myöhemmin väliä, jottei koko kissan luuranko liikkuisi, kun hännän luita manipuloi. Seuraava vaihe oli kopioida alkuperäinen luu, josta takajalan luiden tekeminen alkoi. Vielä tässä vaiheessa ei tarvinnut välittää jalkojen parillisuudesta, koska

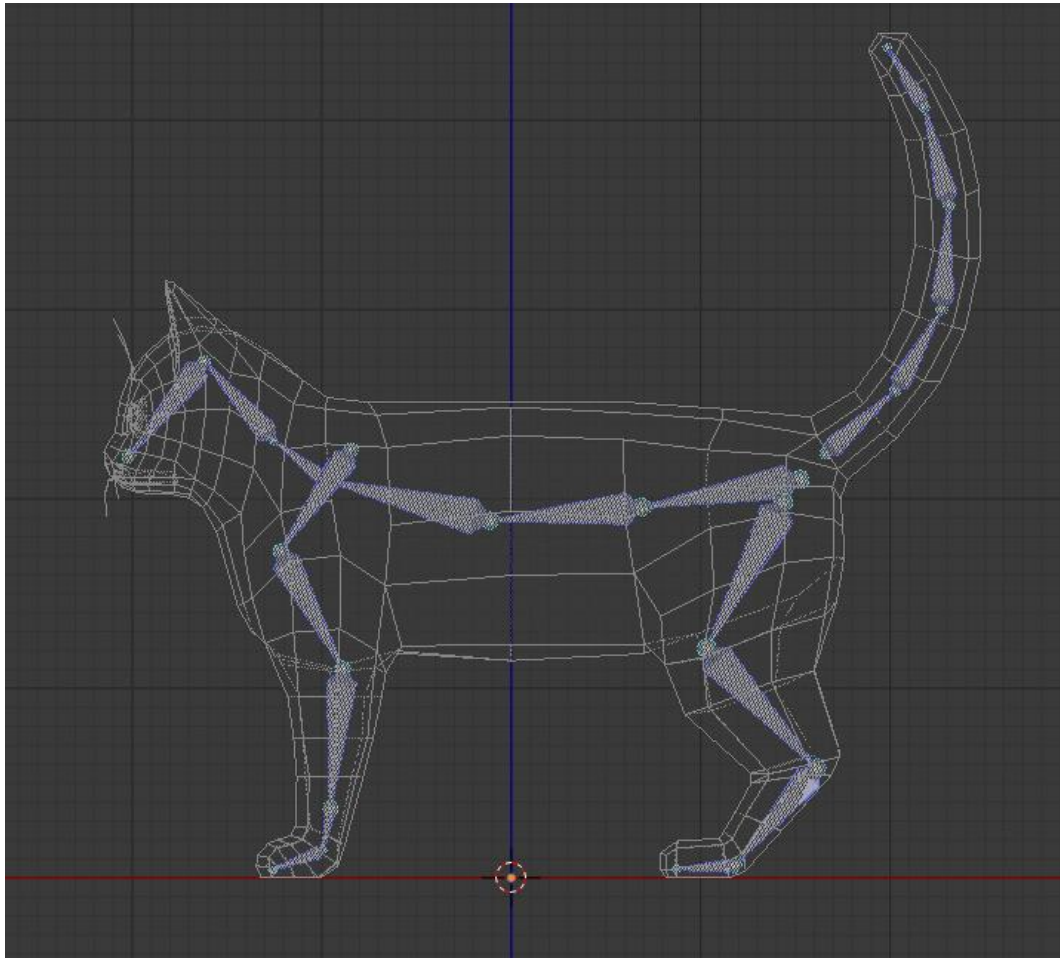
tehdyt parilliset luut voidaan peilata myöhemmin, jotta lopputuloksesta tulee varmasti symmetrisesti tarkoituksenmukainen (kuva 38, kuva 39).



Kuva 37. Kuvasta käy ilmi luodun luustorakenteen hierarkia ennen raajojen peilaamista.



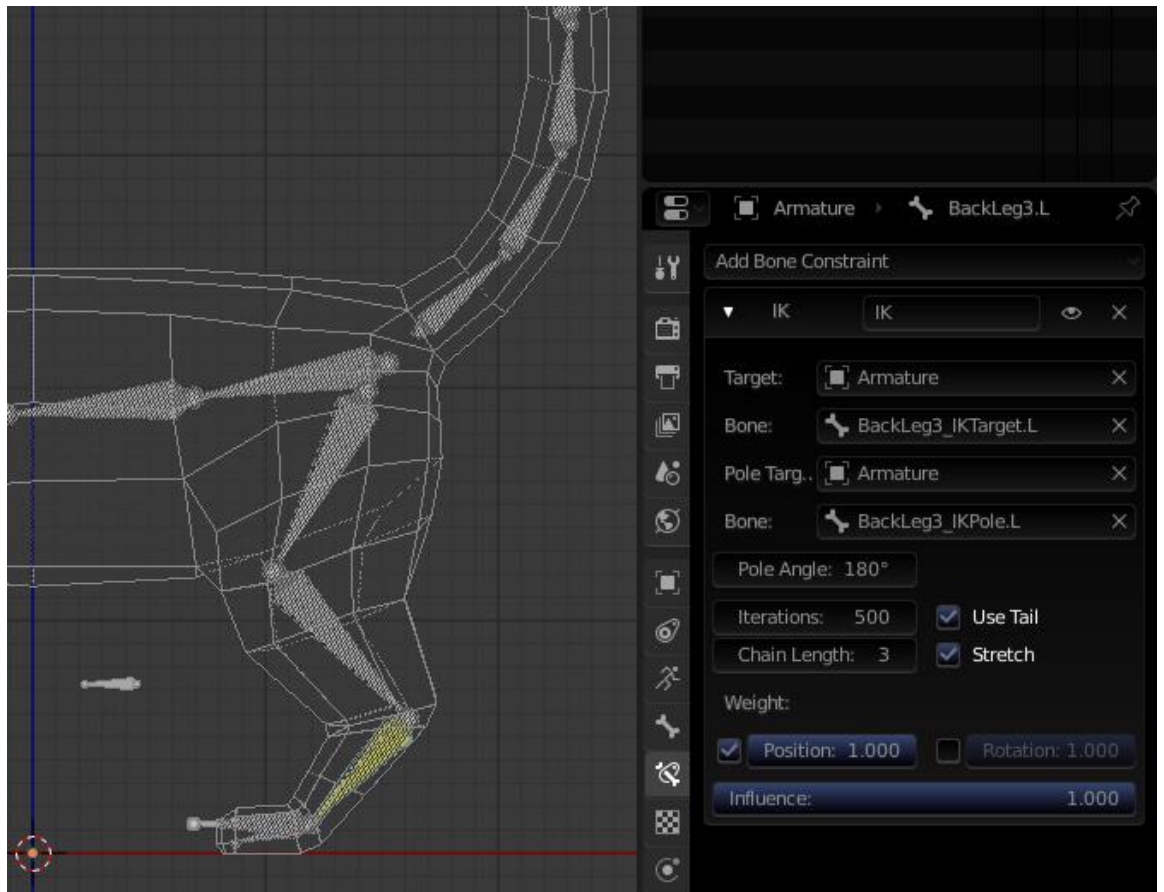
Kuva 38. Jalkojen luut siirretään keskilinjalta jalkojen kohdalle, mutta ainoastaan toiselle puolelle. Raajojen luut peilataan myöhemmässä vaiheessa symmetrisen lopputuloksen varmistamiseksi, ja ettei samaa työtä tarvitsisi tehdä kahta kertaa raajojen ollessa parilliset.



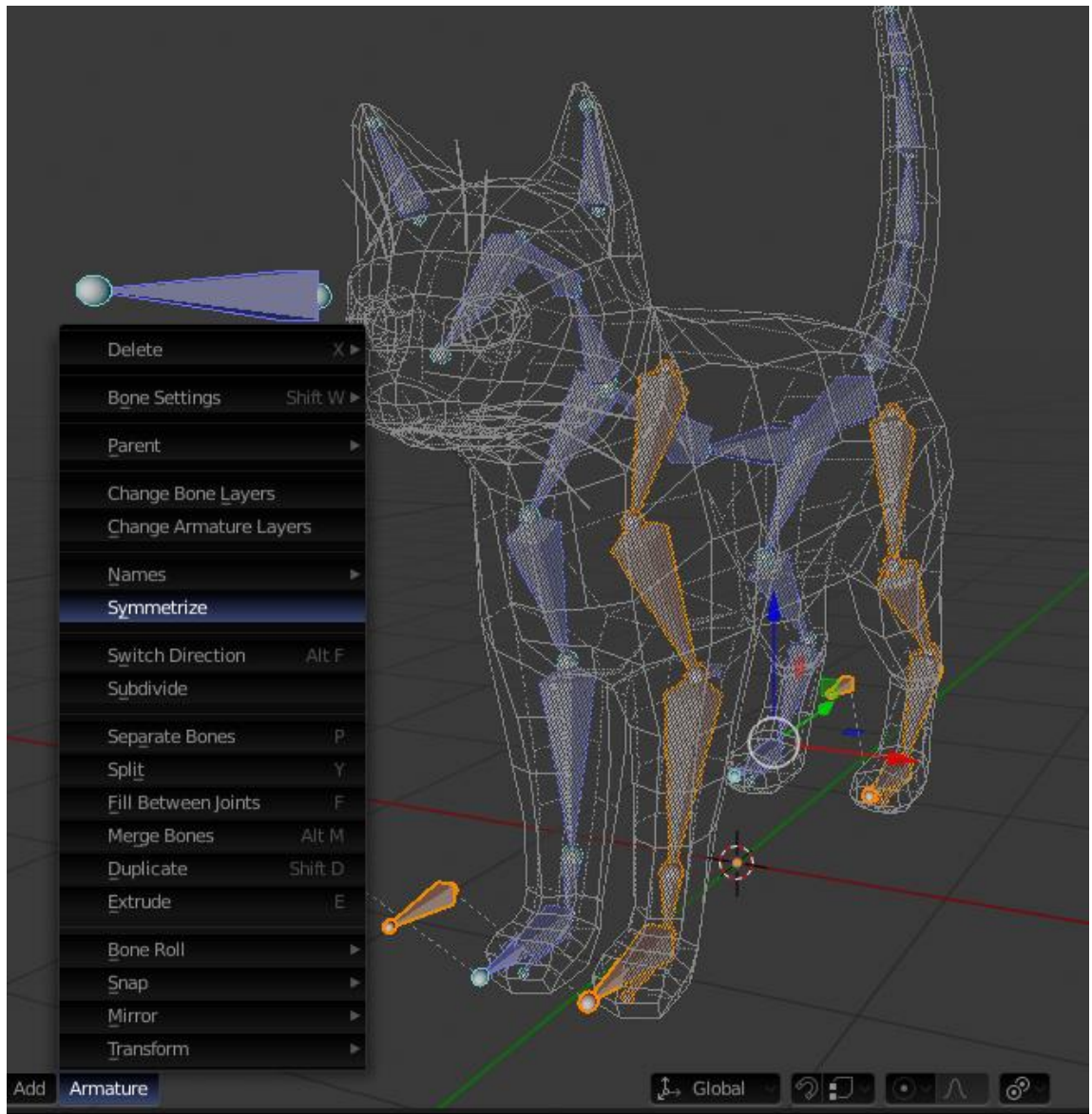
Kuva 39. Kuvassa kissan luustorakenne sivustapäin katsottuna.

9.2 Luustorakenteen ohjaimien, rajoitteiden ja napakohteiden luominen

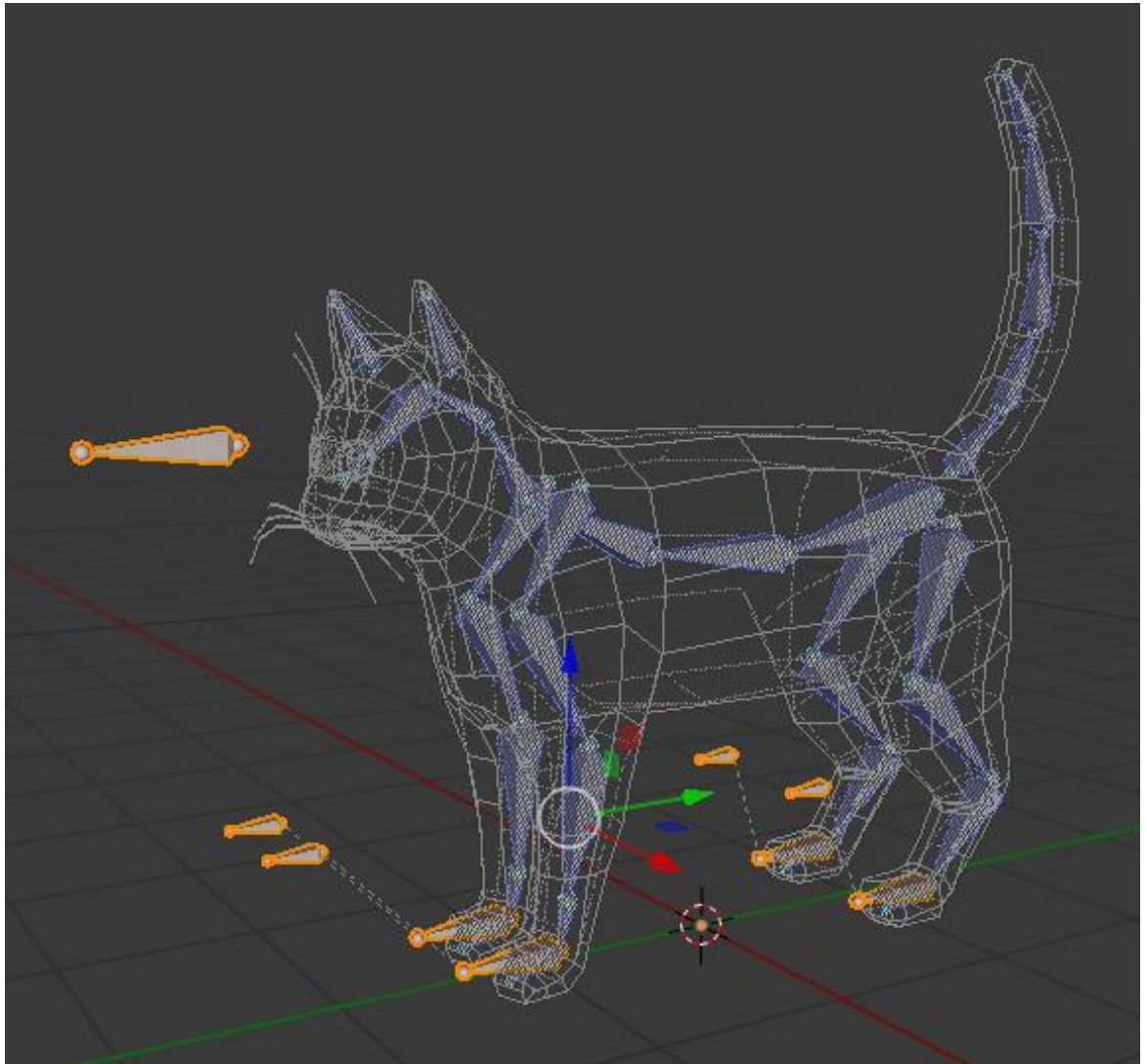
Luiden luomisen jälkeen vuorossa oli ohjaimien luominen luustorakenteen luonnollisenomaista liikkumista varten sekä helpottamaan raajojen liikuttelemista. Ohjaimia varten luodaan erilliset luut sekä asetetaan luulle tietynlaisia rajoitteita oikeanlaisen liikkumisen mahdollistamiseksi. Esimerkiksi ihmisenkään polvi ei taivu kuin yhteen suuntaan. Rajoitteiden lisäksi luodaan napakohteet, jotka toimivat ikään kuin maaleina määritellyille luurakenteille (kuva 40). Tietyt luut asetetaan osoittamaan aina napakohteiden suuntaan. Jalkojen luustorakenteen ollessa napakohteineen ja ohjaimineen valmis vasemmalle puolelle voitiin ne peilata oikealle puolelle automatisoidun toiminnon avulla (kuva 41, kuva 42).



Kuva 40. Takajalan ohjaimen konfiguraatio asetettuine rajoitteineen ja napakohde.



Kuva 41. Luustorakenteen raajat (ja korva) saatiin peilattua toiselle puolelle Armaturen muok-
kaustilasta löytyvän symmetria-ominaisuuden avulla.

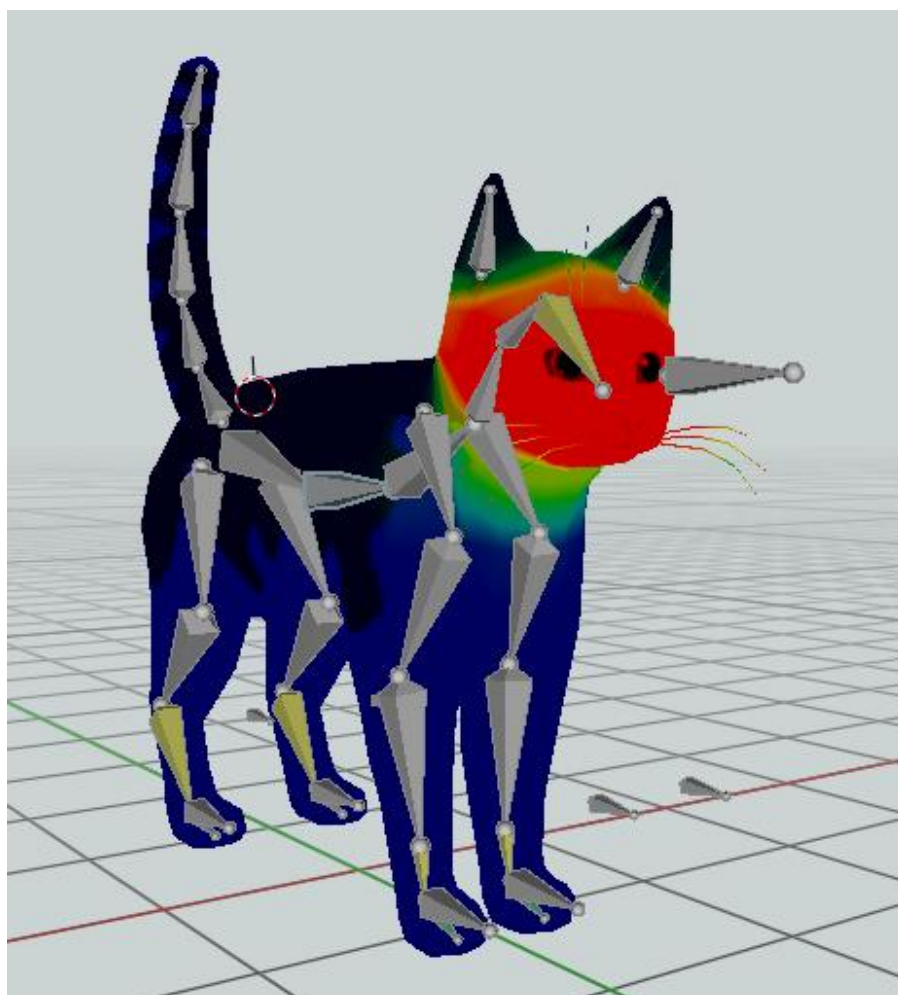


Kuva 42. Kuvassa korostettuna näkyvät Armaturen luut ovat napakohteita ja ohjaimia, eivätkä ne vaikuta 3D-mallin geometrian painotuksiin tai deformaatioon. Deformaatio on kyseisten luiden tapauksessa otettu pois käytöstä. Sääto toimenpiteeseen löytyi Armaturen muokkaustilan Luuvalikosta.

9.3 Painoarvojen maalaaminen

Kissan luustorakenteen yksittäiset luut ohjaavat, miten malli käyttäytyy 3D-hahmoa liikuteltaessa. Aluksi kissan luustorakenne on sidottuna kissan malliin automaattisten painotuksien avulla, mikä on yleensä hyvä lähtökohta. Usein kuitenkin automaattisesti generoidut painotukset ovat vain

suuntaa antavia ja niitä tulisi korjata käsin maalaamalla. Blenderistä löytyy luustorakenteen painoarvojen maalaukseen tarkoitettu tila. Luukohtaiset painotukset generoitiin aluksi ohjelmallisesti, jonka jälkeen luustorakennetta taivuteltiin kissalle luonteenomaisiin ja tarkoituksenmukaisiin asentoihin. Luustorakennetta huolellisesti testaamalla ongelmakohdat tulivat selville nopeasti, ja niitä päästiin muokkaamaan luustorakenteen painoarvojen maalaustilassa. Painoarvojen maalaaminen oli paikoin hidasta jatkuvan iteroimisen johdosta. Painoarvoja muokattiin ja luustorakennetta liikutteltiin vuoron perään (kuva 43). Varsinkin matalapolygonisen 3D-mallin deformaation hallinta on haastavaa, etenkin kun pelivaraa on polygonilukumäärästä johtuen vähemmän. Iterointi kuitenkin tuotti tulosta ja kissan liikeradat alkoivat vaikuttamaan työn edetessä luonnollisilta.



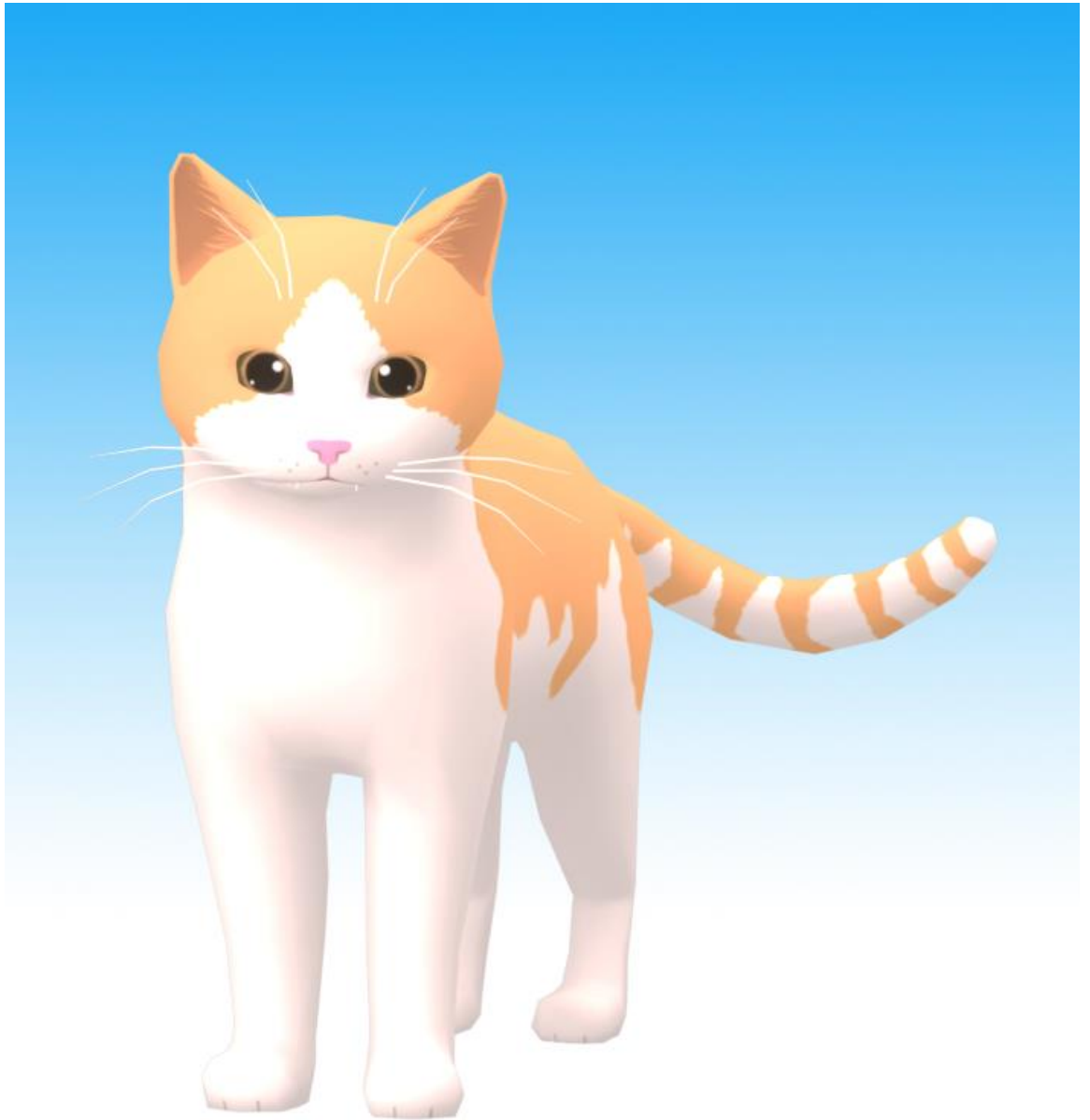
Kuva 43. Kuvassa muokataan painoarvoja painoarvojen muokkaustilassa. Kuvassa muokataan kissan päaluun painoarvoja. Punaisella näkyvään alueeseen luun liikkeellä on suurin vaikutus, ja sinisellä merkittyyn alueeseen päaluun liikkeet eivät vaikuta ollenkaan.

10 Yhteenveto

Oman lemmikin pohjalta toteutettua pelihahmoa oli mukava tehdä. Lopputuloksen teknisessä toteutuksessa hyvän suunnittelun tärkeys korostui. Yksi opinnäytetyön haasteita olikin tekstin tuottaminen aiheesta suomen kielellä, ohjelmistojen ja lähdekirjallisuuden ollessa vieraskielisiä. Työ vaiheineen eteni hyvin opinnäytetyötä tehdessä, ohjelmistojen kuitenkin ollessa entuudestaan suhteellisen tuttuja.

Matalapolygonisen optimoidun peliassetin tuottaminen on mielestäni tärkeä taito 3D-grafiikan kanssa työskentelevälle peligraafikolle. Tyylitelty tyylisopii lowpoly assetille mainiosti ja en malttaisi olla käyttämättä kissahahmoa jossakin oikeassa projektissa. Työn tulos onkin mielestäni oikein antoisa, kun sen perusteella voi toteuttaa kissasta eri variantteja sekä korkeapolygonisia malleja myöhemmin tarvittaessa. 3D-mallinnusvaihetta suorittaessa huolellisesti toteutettu suunnitteluvaihe takasi työnkulun sujuvan etenemisen.

Optimoidun 3D-mallin tuottaminen pelikäyttöön ei ollut itselleni täysin uutta, mutta aihealueena sisälsi silti tarpeeksi haasteita. Lopputuloksena saavutettiin pelimoottorissa käyttövalmis kissahahmo (kuva 44). Näistä lähtökohdista on hyvä jatkaa tulevaisuuden haasteita kohti. Kaiken kaikkiaan eläinhahmon toteuttaminen eri työvaiheineen oli kokonaisuudessaan miellyttävä oppikokemus.



Kuva 44. KISSAHAHMO VALMIINA TULEVAISUUDEN SEIKKAILUIHIN!

Lähteet

Alex W. (2017a) Have a look at Nintendo's early prototype for Yoshi. Haettu 29.4.2019, sivustolta Gamasutra internetosoite: http://www.gamasutra.com/view/news/306745/Have_a_look_at_Nintendos_early_prototype_for_Yoshi.php

Alex W. (2018b) Sonic the Hedgehog's origin story, according to the devs who made him. Haettu 29.4.2019, sivustolta Gamasutra internetosoite: https://www.gamasutra.com/view/news/315731/Sonic_the_Hedgehogs_origin_story_according_to_the_devs_who_made_him.php

Anjin A. (2016) Stylized Realism. Haettu 24.3.2019, sivustolta How not to suck at game design internetosoite: <http://howtonotsuckatgamedesign.com/2016/01/stylized-realism/>

Autodesk. (2019a) Introduction to Polygons. Haettu 24.3.2019, sivustolta Autodesk.com internetosoite: http://download.autodesk.com/global/docs/maya2014/en_us/

Autodesk. (2019b) Polygonal Modeling. Haettu 7.4.2019, sivustolta Autodesk internetosoite: <https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ENU/Maya-Modeling/files/GUID-7941F97A-36E8-47FE-95D1-71412A3B3017-htm.html?st=polygonal%20modeling>

Blender Foundation. (2019a). Blender Reference Manual. Haettu 25.3.2019, sivustolta Blender.org. Internetosoite <https://docs.blender.org/manual/en/latest/index.html>

Blender Foundation (2019b) Rigging. Haettu 26.03.2019, sivustolta docs.blender.org, internetosoite: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/rigging/index.html>

Cheng L. C. (2014) Principles of 3D Modelling for Games. Haettu 24.3.2019, sivustolta indiegamedeveloper.tv internetosoite: <http://www.indiegamedeveloper.tv/principles-of-3d-game-art-modelling/>

Davis B. (2015) One with nature: Playing as animals in videogames. Haettu 16.05.2019, sivustolta destructoid.com internetosoite: <https://www.destructoid.com/one-with-nature-playing-as-animals-in-videogames-291832.phtml>

Gardner L. (2012) Top 10 animals in video games. Haettu 8.4.2019, sivustolta whatculture.com internetosoite: <http://whatculture.com/gaming/top-10-animals-in-video-games>

Hannah S. (2015) What's the Deal with Low Poly Art? Haettu 24.3.2019, sivustolta notes on design internetosoite: <https://www.sessions.edu/notes-on-design/whats-the-deal-with-low-poly-art/>

Joho J. (2017) Video games are creating smarter animals. Haettu 7.04.2019, sivustolta <https://www.polygon.com/features/2017/5/17/15442666/videogame-animals-smarter>

Karan S. (2012) Building A Basic Low Poly Character Rig in Blender. Haettu 26.03.2019, sivustolta cgi.tutsplu.com internetosoite: <https://cgi.tutsplus.com/tutorials/building-a-basic-low-poly-character-rig-in-blender--cg-16955>

Kuznetsov A. (2019) Stylized 3D Production Guide. Haettu 17.05.2019, sivustolta 80 Level internetosoite: <https://stylized3d.80.lv/>

Samuel C. (2014) 21 Crazy facts about Sonic and the console war he started. Haettu 10.05.2019, sivustolta ign.com internetosoite: <https://www.ign.com/articles/2014/06/26/21-crazy-facts-about-sonic-and-the-console-war-he-started>

Pikachu. Haettu 10.1.2019, sivustolta Nintendo internetosoite: <https://www.nintendo.com/games/detail/pokemon-lets-go-pikachu-switch>

Satyajit S. (2018) The best horses in Legend of Zelda: Breath of the Wild. Haettu 17.05.2019, sivustolta medium.com internetosoite: <https://medium.com/@satya164/the-best-horses-in-legend-of-zelda-breath-of-the-wild-d25c393c3e73>

The Gimp Documentation Team (2019) GNU Image Manipulation Program. Haettu 25.03, sivustolta <https://docs.gimp.org/2.10/en/>

The Legend of Zelda: Wind Waker Screenshot. Haettu 11.1.2019 Sivustolta Gamers Temple internetosoite: <https://www.gamerstemple.com/vg/games/000187/000187s.asp?screen=3>

Wikipedia (2019c) Blender (ohjelma). Haettu 18.05.2019, sivustolta Wikipedia – vapaa tietosanakirja internetosoite: [https://fi.wikipedia.org/wiki/Blender_\(ohjelma\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Blender_(ohjelma))

Wikipedia (2019d) GIMP. Haettu 18.05.2019, sivustolta Wikipedia – vapaa tietosanakirja internetosoite: <https://fi.wikipedia.org/wiki/GIMP>

Wikipedia (2019a) Yoshi. Haettu 8.4.2019, sivustolta Wikipedia – vapaa tietosanakirja internetosoite: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Yoshi>

Wikipedia (2019b) Sonic the Hedgehog (pelisarja). Haettu 18.05.2019, sivustolta Wikipedia – vapaa tietosanakirja internetosoite: [https://fi.wikipedia.org/wiki/Sonic_the_Hedgehog_\(pelisarja\)](https://fi.wikipedia.org/wiki/Sonic_the_Hedgehog_(pelisarja))

Zwiezen Z. (2019) We need More Games That Let You Play As Animals. Haettu 17.05.2019 Sivustolta Kotaku.com internetosoite: <https://kotaku.com/we-need-more-games-that-let-you-play-as-animals-1833340085>