

Anssi Hänninen

## UNITY-YHTEENSOPIVAN 3D-PELIHAHMON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

# UNITY-YHTEENSOPIVAN 3D-PELIHAHMON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Anssi Hänninen  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Tietojenkäsittely  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma, Internet-palvelut ja digitaalinen media

---

Tekijä: Anssi Hänninen

Opinnäytetyön nimi: Unity-yhteensopivan 3D-pelihakmon suunnittelu ja toteutus

Työn ohjaaja: Matti Viitala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 32

---

Opinnäytetyössä seurataan pelihakmon suunnittelua ja kehittämistä alusta alkaen. Työ tehtiin itsenäisesti, eikä sillä ollut toimeksiantajaa. Tavoitteena oli toteuttaa valmis, teksturoitu 3D-hahmo, joka voidaan viedä Unity-pelimoottoriin ja laittaa toimimaan vähällä vaivalla. Työn aikana pyrin myös tutustumaan hahmon suunnitteluun ja konseptien tuottamiseen, joka oli itselle aloittaessa vielä uutta.

Hahmo toteutettiin käyttäen apuna Blender-, Unity- sekä GIMP-sovelluksia. Sovellukset valittiin, sillä ne olivat ilmaisia ja kokemusta sovelluksista löytyi jo valmiiksi.

Työssä siis lähdettiin liikkeelle suunnittelusta, jonka jälkeen hahmo luotiin 3D-malliksi. Sille luotiin tekstuuri ja suoritettiin tarvittavat toimenpiteet, jotta kokonaisuus saatiin toimimaan pelimoottorissa. Hahmo luotiin matalalla tarkkuudella, jotta sitä voitaisiin käyttää mahdollisimman monella alustalla.

---

Asiasanat: 3D-mallinnus, tietokonegrafiikka, peligrafiikka, pelihakmot

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Information Technology, Internet services and digital media

---

Author: Anssi Hänninen

Title of thesis: Designing and implementing a Unity-compatible 3D game character.

Supervisor: Matti Viitala

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018      Number of pages: 32

---

In this thesis, the author is designing and implementing a 3D game character from the beginning. This thesis doesn't have a client and is done independently. The aim was to produce a complete 3D character with textures, that could be used as easily as possible in Unity game engine. During this thesis, the author familiarized himself with designing a character and producing concept art, which was still unfamiliar at the beginning.

The character was created using Blender, Unity and GIMP. These programs were chosen due to them being free and because the author had already some experience in each of them.

The thesis began from designing after which the character was modeled to a complete 3D model. The texture was created, and all the necessary steps were completed to get the whole set work inside game engine. The character was created at low fidelity to allow its usage on multiple platforms.

---

Keywords: 3D modeling, computer graphics, game graphics, game characters

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	3D-GRAFIikka .....	7
2.1	3D-mallintaminen .....	7
2.2	3D-grafiikka peleissä .....	8
3	KÄYTETYT OHJELMISTOT .....	9
3.1	Blender .....	9
3.2	Unity .....	10
3.3	GIMP 2 .....	11
4	HAHMON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS .....	13
4.1	Hahmon suunnittelu .....	13
4.2	Hahmon luominen .....	16
4.2.1	Hahmon mallinnus .....	16
4.2.2	Hahmon valmistelu tekstuureja varten .....	19
4.2.3	Riggaaminen .....	23
4.2.4	Tekstuurin luominen .....	24
5	HAHMON VIEMINEN UNITYYN .....	28
5.1	Tiedostojen vienti Unityyn .....	28
5.2	Tiedostojen käyttö Unityssa .....	28
6	POHDINTA .....	31
	LÄHTEET .....	32

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe oli ollut jo pitkään mietinnässä. Aiheet kuitenkin rajoittuivat tiukasti 3D-mallinnukseen, sillä se on ollut oma kiinnostuksen aihe jo pitkään. Opintojen ohella 3D-grafiikasta on myös kertynyt työkokemusta ja se tuntui välittömästi omalta alalta. Tämän vuoksi halusin rajata opinnäytetyöni aiheen koskemaan mahdollisimman paljon juurikin 3D-grafiikkaa ja mallinnusta.

Alun perin tarkoituksena oli tehdä paketti 3D-malleista, mutta myöhemmin innostuin kuitenkin enemmän kokonaisen pelidemon tekemisestä. Pelidemon olisi sisältynyt 3D-mallintamisen lisäksi myös koodaamista. Työn määrä kuitenkin oli aikataululle liikaa, joten opinnäytetyön aihetta vaihdettiin loppuvaiheilla vielä pelkän toimivan 3D-hahmon suunnitteluksi ja tuottamiseksi.

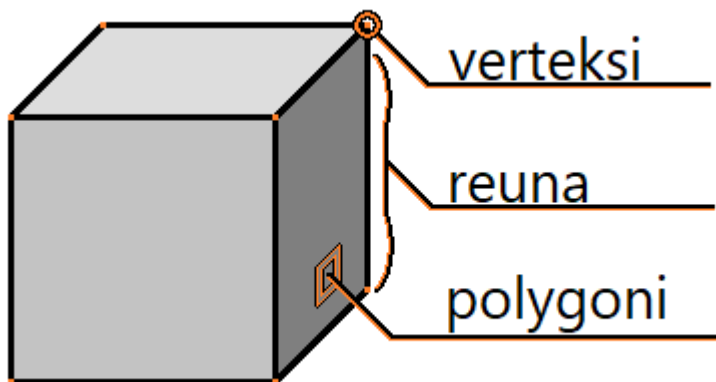
Toimivalla hahmolla tarkoitetaan tässä työssä valmista ihmismäistä 3D-mallia, humanoidia, joka voidaan siirtää Unity3D-ohjelmaan ja se toimii siellä mahdollisimman vähällä vaivalla animaatioiden kanssa. Työhön sisältyy siis 3D-mallin ja luurangon luominen, tekstuureiden tuottaminen sekä kaikkien näiden toimivuuden varmistaminen Unityssa.

## 2 3D-GRAFIikka

3D-grafiikalla tarkoitetaan grafiikkaa, jonka esittämiseen käytetään kolmiulotteista esitystapaa. 3D-grafiikan piirtämiseen käytetään paljon samoja algoritmeja kuin 2D-grafiikassa. 2D- ja 3D-grafiikan rajat ovat monissa käyttökohteissa myös sumeat, sillä 2D-grafiikan luonnissa voidaan käyttää 3D-grafiikkaa, mutta renderöidä se vain kaksiulotteisena. 3D-grafiikkaa voidaan esittää myös reaaliaikaisena. (Wikimedia Foundation 2018a, viitattu 26.3.2018.)

### 2.1 3D-mallintaminen

3D-grafiikan peruselementtinä toimii 3D-malli. Malli koostuu useista kolmiulotteiseen avaruuteen sijoitetuista pisteistä, vertekseistä, joita yhdistävät reunat, monikulmiot tai kurvit. Kyseiset osat on esitetty kuviossa 1. Malliin monikulmioista tai kurveista muodostuvia pintoja voidaan peittää kaksiulotteisilla kuvilla, tekstuureilla. (Rouse, M. 2016, viitattu 26.3.2018.)



KUVIO 1: Polygoni-rakenteisen 3D-mallin osat

Yleisin tapa 3D-mallinnuksessa on rakentaa malli monikulmioista eli polygoneista. Polygonimallinnuksessa etuna on sen tehokkuus verrattuna kurveihin, joita varten tietokoneen tulee käyttää monimutkaisempia algoritmeja. Tehokkuus korostuu varsinkin reaaliajassa liikkuvilla malleilla, joille algoritmit pitää käydä läpi jokaisella renderöitävällä kuvalla. Huonona puolena polygoneissa on kuitenkin niiden tasaisuus, jonka vuoksi kurveja voidaan mallintaa vain karkeasti. (Singh, M. 2015, viitattu 29.3.2018.)

Mikäli 3D-mallilla on nivelkohtia, halutaan sille yleensä luoda luuranko, jonka avulla voidaan määrittellä niiden taipumiskohdat. Luuranko helpottaa mallien animoimista huomattavasti ja mahdollistaa jopa valmiiden animaatioiden käytön useimmilla malleilla, joiden luuranko muistuttaa alkupeleistä. Niiden kanssa kuitenkin voi joutua työskentelemään tovin, mikäli 3D-mallin pinta on monimutkainen tai sisältää taipumattomia kohtia, sillä luurangolle tulee määrittää sen voimakkuudet kuhunkin kohtaan mallia. Ihmisluuranko rakennetaan tyypillisesti niin sanottuun t-asentoon, jossa sen kädet on levitetty sivuille. (Wikimedia Foundation 2018b, viitattu 29.3.2018.)

Mallilla ei kuitenkaan tarvitse olla luurankoa, vaan sille voidaan luoda animaatio avainkehysten kanssa. Avainkehys on tallennetun mallin tiedostoon jäävä animaation kohta, joka ohjaa verteksien tai yksittäisten elementtien liikettä kierron sekä sijainnin avustuksella. Esimerkkinä tällaisesta animaatiosta toimii oven avaaminen. Oven avauksessa asetetaan avainkehys animaation alkuun, jossa ovi on kiinni, sekä animaation loppuun jossa ovea kierretään haluttu määrä. Useimmat sovellukset, Blender mukaan luettuna, täydentävät animaatiosta avainkehysten väliin jäävän tilan lineaarisilla siirtymillä. (Pluralsight 2015 viitattu 26.3.2018.)

## **2.2 3D-grafiikka peleissä**

3D-grafiikka toimii peleissä samalla tavalla kuin missä tahansa muualla. Peleihin mallintaessa on kuitenkin otettava huomioon, että malli renderöidään reaaliajassa. Mitä enemmän peliruudulla on malleja, sitä enemmän tietokoneen on tehtävä töitä kuvan piirtämiseen. Tämän vuoksi on tärkeää pitää mielessä mille alustalle peliä kehitetään. Vaikka nykyiset puhelimet ovat varsin tehokkaita graafisestikin, ovat ne silti jäljessä tietokoneita eivätkä pysty hyödyntämään monia tietokonepeleissä käytettyjä teknologioita. (Innovecs 2017, viitattu 2.4.2018.)

Yleisesti peleihin mallintaessa on hyvä pitää malleista ylimääräiset yksityiskohdat poissa. Monet yksityiskohdat voidaan lisätä jälkeempään tekstuureilla, jolloin mallin renderöimiseen ei jouduta käyttämään ylimääräistä tehoa. Mikäli yksityiskohtia tarvitaan, voidaan mallille tehdä useampia tarkkuustasoja, joiden näyttäminen riippuu pelin sisällä kameran etäisyydestä malliin. Kun kamera on mallin lähellä, voidaan näyttää korkean resoluution malli joka miellyttää silmää, mutta kameran siirtyessä kauas mallin tarkkuutta voidaan huoletta tiputtaa tasolle, jolla ihmissilmä ei erota muutosta. On myös tehokasta jättää malleista tekemättä osat, joita pelaaja ei tule koskaan näkemään. (Techopedia 2018, viitattu 2.4.)



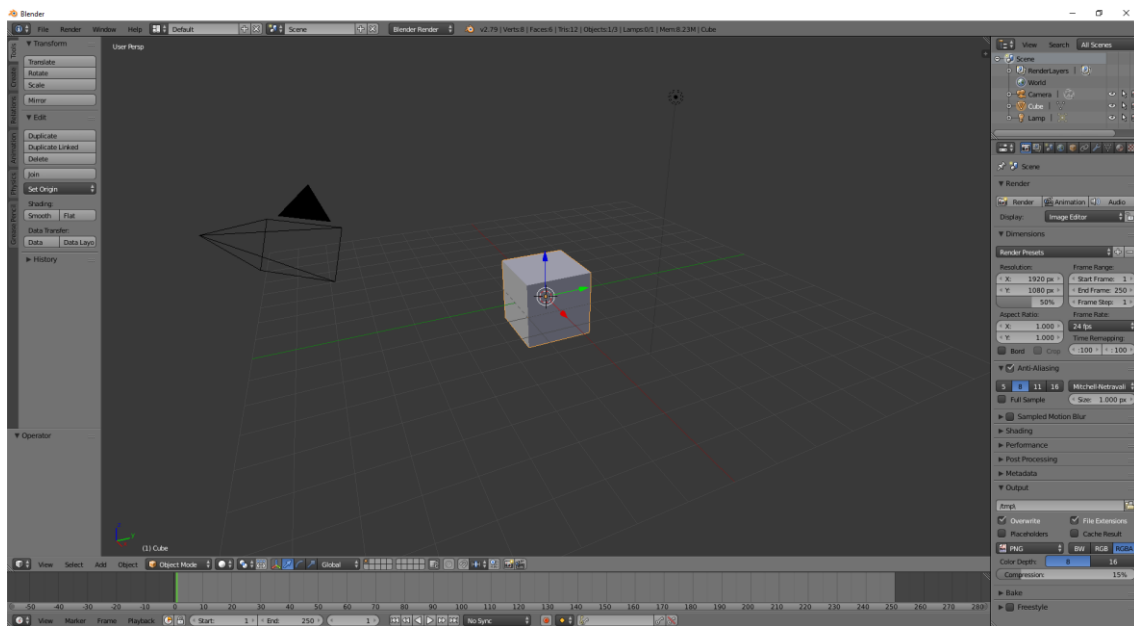
## 3 KÄYTETYT OHJELMISTOT

### 3.1 Blender

Blender on avoimeen lähdekoodiin perustuva ilmainen 3D-sovellus. Sitä voidaan käyttää useiden käyttöjärjestelmien välillä sulavasti, sillä sovellus päivitetään jokaiselle alustalle samoilla ominaisuuksilla ja käyttöliittymällä. Se tarjoaa ominaisuuksia, joiden avulla voidaan merkittävimmät 3D-grafiikkaan liittyvät toiminnot, kuten mallinnus, riggaus, eli luurangon luonti, animointi sekä renderöinti. Lisäksi Blender tarjoaa työkalut simulaatioihin, liikkeen nauhoitukseen, videonkäsittelyyn ja jopa pelien luontiin. (Blender 2018, viitattu 22.1.2018.)

Työhöni valitsin 3D-sovellukseksi Blenderin, sillä olen käyttänyt kyseistä ohjelmaa niin harrastus-, koulu- kuin työtehtävissäkin. Se on myös todennäköisesti monelle muulle 3D-grafiikasta kiinnostuneelle ensimmäinen sovellus jonka he pyrkivät opettelemaan, sillä se tarjoaa tärkeimmät toiminnot ilmaisessa paketissa. Blenderiin on myös mahdollista tehdä omia lisäosia, jotka tuovat lisätoimintoja jotka voivat olla puutteellisia sovelluksessa itsessään.

Työkalujen lisäksi myös käyttöliittymä on täysin käyttäjän muokattavissa. Jokainen työkalu elementti voidaan sijoittaa mihin halutaan ja kaikkia pikanäppäin yhdistelmiä voidaan muokata omaan makuun. Mikäli sovellukseen tuleva käyttäjä on siis tottunut toiseen sovellukseen, voidaan Blenderin käyttökokemus muokata lähes vastaavaksi. Itse käytän Blenderin ulkoasua hyvin dynaamisesti ja jaan ikkunoita tarpeen mukaan. Lisäksi käytän myös muutamia muokattuja pikanäppäin asetuksia, mutta työn aikana viittaan käytettyihin toimintoihin niiden alkuperäisillä näppäinyhdistelmillä. Kuviossa 2 on esitetty Blenderin vakio ulkoasu uutta projektia aloittaessa.



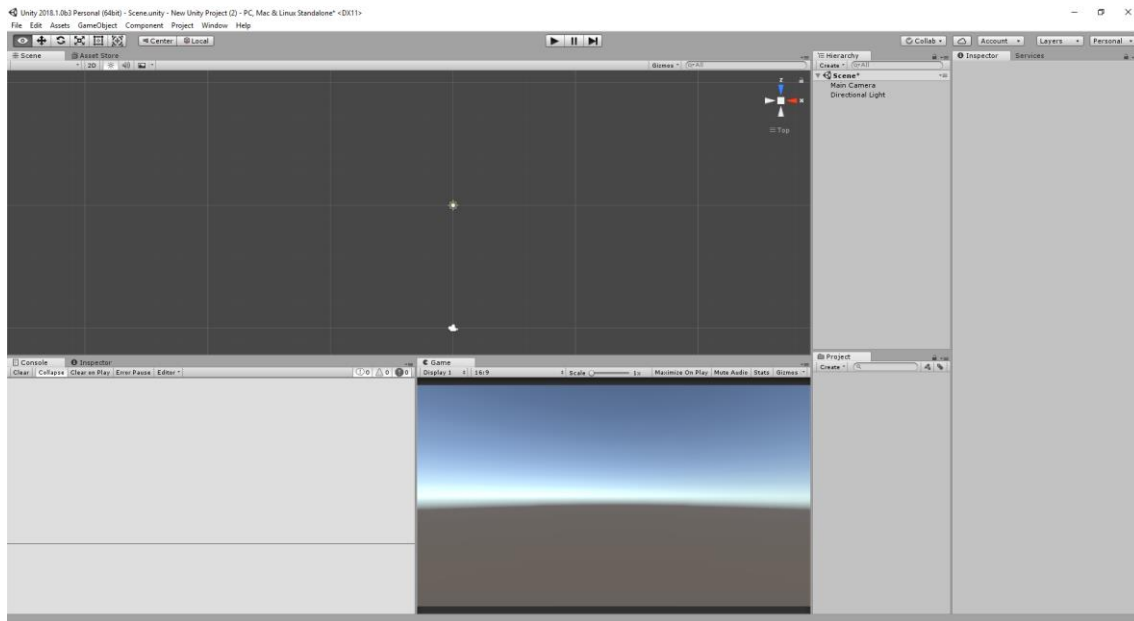
KUVIO 2: Blenderin vakio käyttöliittymä

### 3.2 Unity

Unity on ilmainen pelimoottori aloittelijoille, opiskelijoille sekä harrastajille. Sillä on mahdollista toteuttaa niin 3D- kuin 2D-pelejäkin. Unity tarjoaa työkalut kattavasti pelilogiikan kehitykseen, suunnitteluun ja visuaaliseen toteutukseen sekä julkaisuun. Pelimoottorin ohessa Unity tarjoaa myös mahdollisuuden käyttää omaa kauppasivua, Unity Storea, jonne kuka tahansa voi julkaista omia lisäosia, grafiikkaa tai koodia. Storessa on kattava määrä niin ilmaisia kuin maksullisiakin tuotteita. (Unity 2018a, viitattu 23.1.2018.)

Moottorista on myös tarjolla kuukausimaksulliset Plus- ja Pro-versiot, jotka tuovat mukanaan lisätoimintoja kuten kattavammat moninpeli palvelimet ja muokattava aloitusruutu. Unityn versiot ovat myös luokiteltu kehittäjän tulojen mukaan. Esimerkiksi mikäli kehittäjän vuosittaiset tulot ylittävät \$100 000, vaaditaan häneltä Plus-lisenssi. (Unity 2018b, viitattu 23.1.2018.)

Työssä käytin Unityn ilmaisversiota jota olen käyttänyt tähän mennessä useimmissa peliprojekteissäni. Unity on myös valtavassa suosiossa, jonka vuoksi sen käyttöön perehtyminen on lähes välttämätöntä pelialaa ajatellessa. Unityssa käytin itsemuokattava käyttöliittymän ulkonäköä, joten kuvakaappaukset voivat näyttää hieman normaalista ulkonäöstä poikkeavilta joissain tapauksissa. Käyttöliittymä on esitetty kuviossa 3.



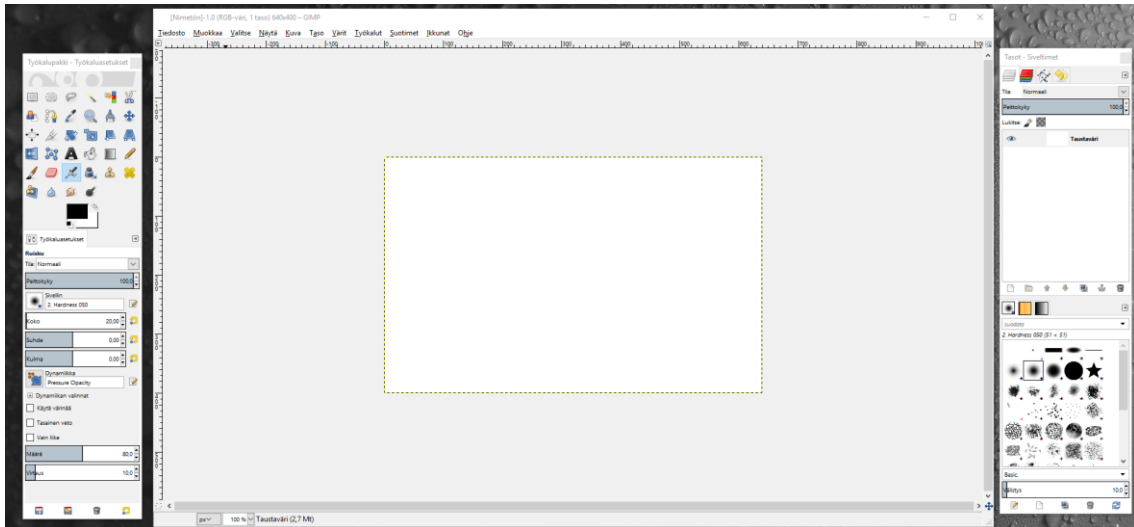
KUVIO 3: Unityn muokattu käyttöliittymä

### 3.3 GIMP 2

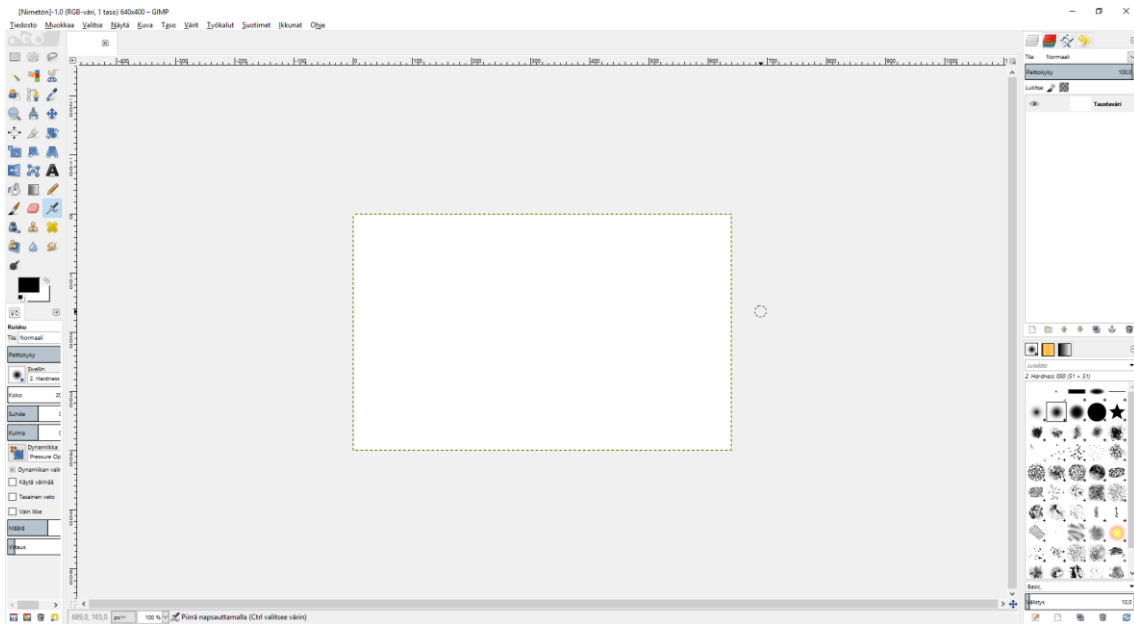
GIMP on ilmaisjaossa oleva sovellus kuvien käsittelyyn. Sitä voidaan pyörittää kaikilla yleisimmillä käyttöjärjestelmillä ja se perustuu avoimeen lähdekoodiin. Sovellus tarjoaa myös laajasti työkaluja aina kuvien muokkaamiseen, sommitteluun sekä luomiseen. Kuten Blender, myös GIMP on helposti laajennettavissa lukuisine liitännäisineen, laajennoksineen ja skripteineen.

(GIMP 2018, viitattu 6.5.2018.)

Työhöni valitsin GIMP:n omien käyttökokemusten perusteella, sekä sen ilmaisuuden puolesta. Myös muita ilmaisia sovelluksia olisi ollut tarjolla, kuten paint.net, mutta oma kokemus sen käytöstä on rajattua. Muihin sovelluksiin verrattuna GIMP tarjoaa erikoisen käyttöliittymän, sillä se koostuu kolmesta erillisestä ikkunasta sen sijaan, että kaikki olisi yhdessä ikkunassa erillisinä palkkeina. Näitä ikkunoita kutsutaan telakoiksi ja niihin voidaan kiinnittää useita työkaluja kuhunkin. Käyttöliittymä vaatii alkuunsa hieman totuttelua, mutta toimii erittäin sulavasti, kun sen oppii. GIMP tarjoaa myös mahdollisuuden käyttää tavanomaisempaa yhden ikkunan käyttöliittymää, mikäli käyttäjä suosii sitä. Kuviossa 4 on esitetty sovelluksen vakio käyttöliittymä ja kuviossa 5 yhden ikkunan tila.



KUVIO 4: GIMP:n vakio ikkunat



KUVIO 5: GIMP:n yhden ikkunan käyttöliittymä

## 4 HAHMON SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

### 4.1 Hahmon suunnittelu

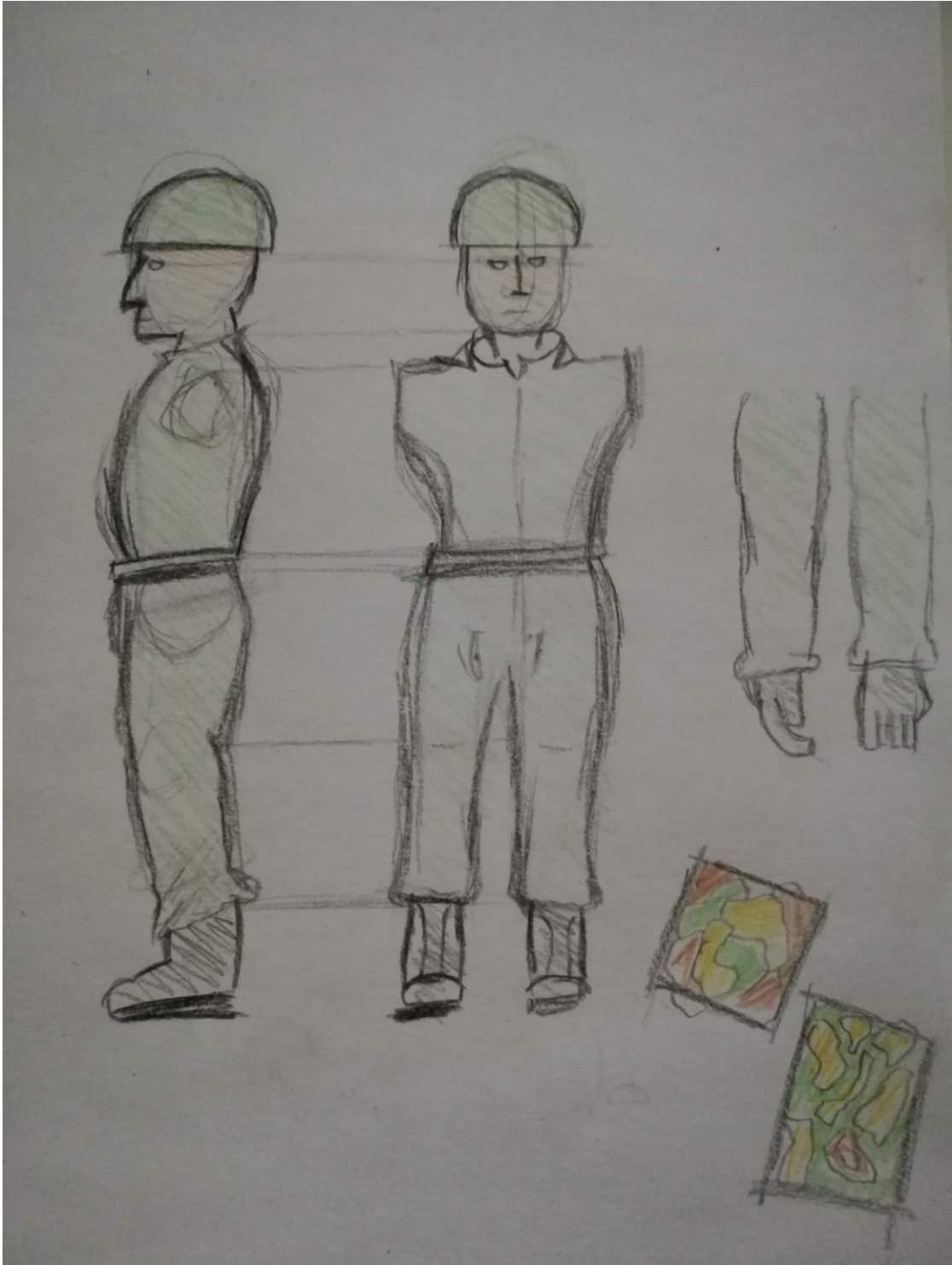
Hahmoa suunnitellessa oli tärkeää, että tiedettiin, minkälaista lähdettiin kehittämään. Kehityssuuntaan vaikutti se, millaiseen ympäristöön hahmo tuli sijoittumaan. Tämän vuoksi ensiksi suunniteltiin hahmon ympärille peli, jonka jälkeen oli huomattavasti helpompaa lähteä mallintamaan ja tuottamaan hahmoa tarvittavalla tarkkuudella.

Ympäristöä miettiessä oli jo jonkinlainen idea mitä voitaisiin kehittää. Vahvimmin mielessä oli erilaiset areenalle sijoittuvat taitopohjaiset ja reaaliaikaiset kamppailupelit. Peli olisi kuvattu yläviisiotosta hahmoon lukitulla kuvakulmalla, mutta sen voisi myös halutessaan irrottaa ja ohjata sitä viertämällä näytön reunoista hiirellä. Tässä tapauksessa hahmon ei tarvitsisi olla kovin tarkkoilla yksityiskohdilla mallinnettu, mutta sille pitäisi kuitenkin luoda piirteitä jotka erottaisivat sen helposti, vaikka kamera olisikin kaukana. Yhtenä esimerkkinä tällaisesta pelistä voidaan mainita Battlerite, jossa pelaaja valitsee hahmon, jolla on kuusi erilaista taitoa sekä yksi perushyökkäys. Kuvioista 6 näkee hyvin, kuinka Battleritessa on tuotu hahmojen piirteitä esille tekstuurilla sen sijaan, että ne olisi luotu 3D-malliin. Hahmon mitat on myös luotu sellaisiksi, että sen erottaa helposti kamerassa.



KUVIO 6: Battleriten hahmon valintänäkymä.

Ensimmäisenä oli mielessä jousipyssyillä käytävä kaksinkamppailu, jossa pelaaja ohjaa hahmoa samoin kuin esimerkissä. Samaan ideaan olisi myös voinut toteuttaa lähikamppailun tai pelin jossa käytettäisiin taikavoimia. Lopulta päädyttiin kuitenkin ideaan, jossa teemana olisi moderni sodankäynti aseineen varustetuilla sotilaille. Ympäristön kanssa peli tarjoaisi myös useita mahdollisuuksia aina metsistä rakennettuihin alueisiin. Ideaan oli myös sopivan helppo suunnitella pelaajan ohjaama hahmo. Hahmosta siis päädyttiin tekemään sotilas, josta suunniteltiin muutamia eri versioita. Kuviossa 7 on hahmon lopullinen suunnitelma karkeasti hahmoteltuna. Kuviossa on myös muutamia eri maastokuvioita, joita suunniteltiin vaatteisiin.

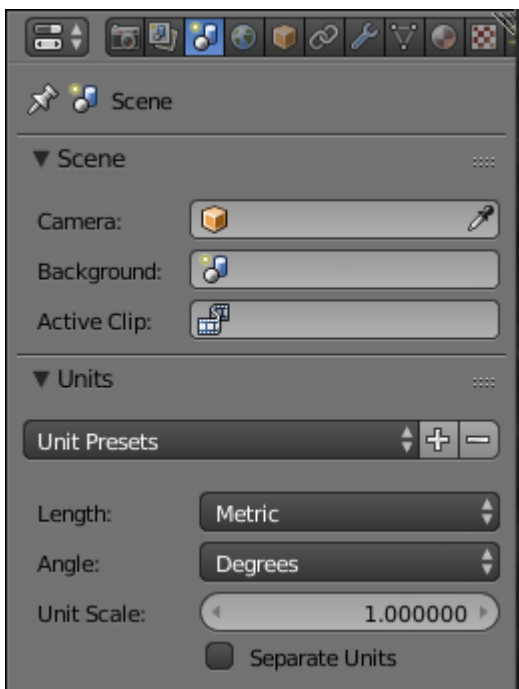


KUVIO 7: Suunnittelun hahmon konsepti

## 4.2 Hahmon luominen

Hahmo luotiin täysin Blenderissä. Työn aloittamisen hetkellä Blenderin uusin versio oli 2.79b, jota käytettiin koko työn ajan. Työn helpottamiseksi käytettiin muutamia lisäosia ja muuntimia, jotka tulevat Blenderin asennuksessa mukana, mutta osa niistä vaatii erikseen päälle kytkemisen.

Hahmon luominen aloitettiin luomalla uusi tiedosto. Ihmismallia työstäessä on tärkeä pitää mielessä mittasuhteet, jonka vuoksi vaihdettiin Blenderin mittayksiköt metreiksi kuviossa 8 näkyvästä scene-palkista. Mittasuhteet varmistettiin myös kytkemällä päälle rigify-lisäosa, joka mahdollistaa ihmisluurangon luomisen yhdellä napilla. Suunniteltu hahmo ei kuitenkaan ollut täysin realistinen, joten rigify-lisäosan tuomaa luurankoa käytettiin vain pohjana omalle, hieman karikatyyrisemmälle luurangolle. Oman luurangon lopulliseksi pituudeksi tuli 1,67m.



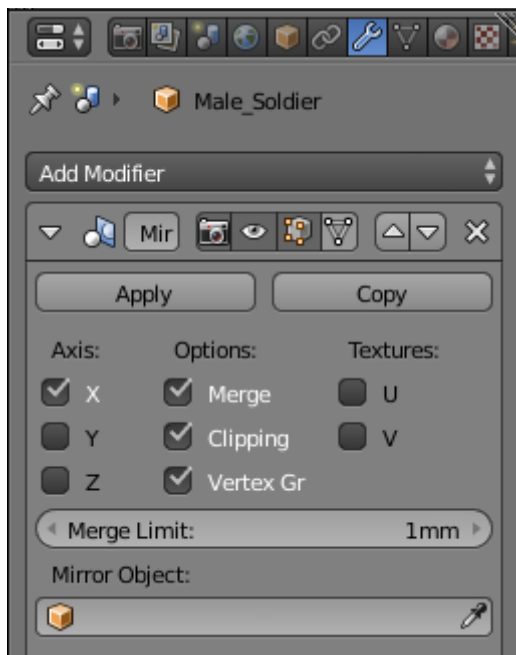
KUVIO 8: Blenderin Scene-palkki

### 4.2.1 Hahmon mallinnus

Kun oma luuranko saatiin valmiiksi, alettiin työstää itse hahmoa. Hahmon luominen aloitettiin helpimmasta osasta eli jaloista. Mallinnus aloitettiin luomalla ympyrä Shift + A -näppäin yhdistelmällä aukeavasta valikosta. Ympyrän ollessa valittuna siirryttiin muokkaustilaan painamalla tab-näppäintä ja leikattiin ympyrä puoliksi vaaka-akselilla. Tämä tapahtui helpoiten napauttamalla B-näppäintä ja valitsemalla hiiren vasen painike pohjassa ympyrän toisen puolen verteksit. Seuraavaksi



ympyrälle lisättiin kuviossa 9 näkyvä mirror-muunnin, joka nimensä mukaan peilaa objektin keskipisteen kohdalta. Muunnin voidaan asettaa oikean reunan ominaisuusvalikosta klikkaamalla työkalu kuvaketta. Muunnin löytyy pudotusvalikosta generointi muuntimien alta. Muuntimesta asetettiin peilausakseliksi x ja asetettiin clipping-asetus päälle, jolloin muokkaaminen rajoitettiin vain keskipisteen toiselle puolelle, eikä verteksejä voitu viedä peilatus akselin toiselle puoleen. Tällä helpotettiin työn kulkua merkittävästi. Asetuksista laitettiin myös päälle merge, joka yhdistää peilauskohdan lähellä olevat verteksit automaattisesti yhteen. Yhdistämisen herkkyyttä voitiin säätää merge limit -asetuksella, mutta vakioasetus toimi tässä tapauksessa varsin hyvin.

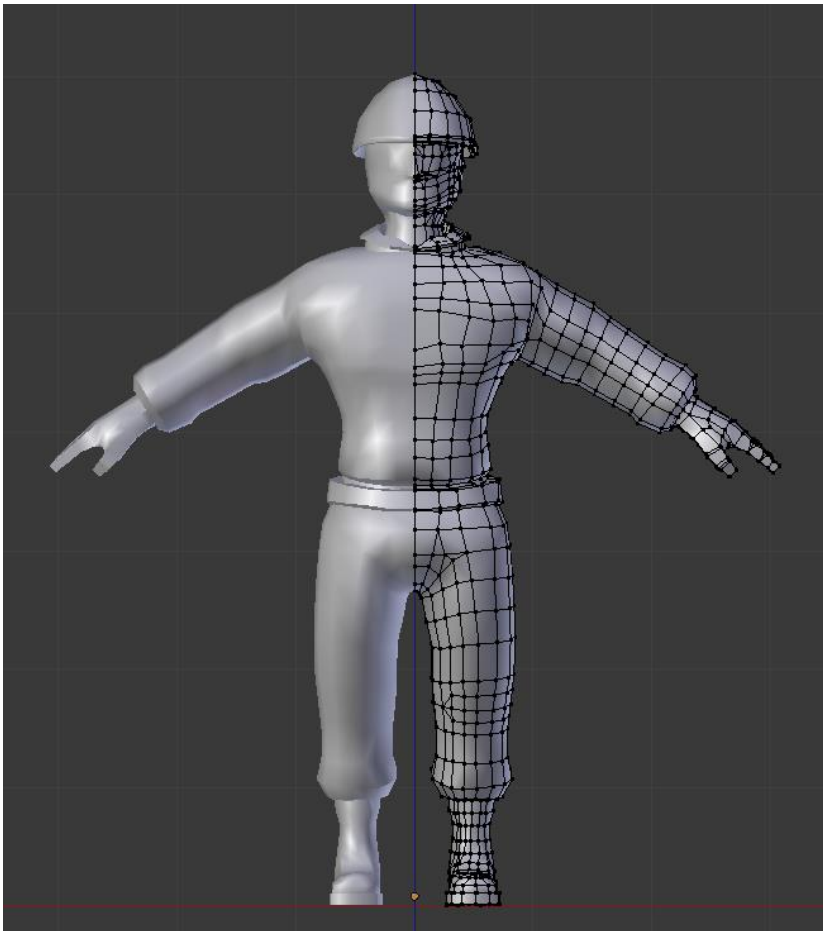


KUVIO 9: Hahmolle lisättävä Mirror-muunnin

Kun asetukset oli asetettu, alettiin ekstrusoida vyön verteksejä alaspäin. Ekstrusoinen tapahtuu napauttamalla E-näppäintä muokkaustilassa. Samalla uusia verteksejä asetettiin muodostamaan aluksi karkeasti ihmisen piirteitä. Koska hahmo kuvataan pelissä etäämmältä, jalat mallinnettiin näyttämään tavallista paksummilta, jotta ne erottuisivat pelatessa helpommin. Raajoja mallintaessa on hyvä muistaa myös taitoskohdat, joissa malli joutuu venymään luun kääntyessä. Venyviin kohtiin on hyvä lisätä muutama verteksi, jotta taipuminen saadaan näyttämään luonnollisemmalta, eikä malliin asetettavat tekstuurit veny liiallisuuksiin. Tässä tapauksessa polven kohdalla tahkot jaettiin pystysuunnassa kahtia ja yhdistettiin polven sivuilta takaisin alkuperäisiin reunoihin. Kenkiä mallintaessa ei erityisiä huomioita tarvitse, mutta on syytä ottaa huomioon, että kenkä taipuu askeltaessa, jonka vuoksi on hyvä laittaa muutama leikkaus kengän pohjaan sekä varpaiden kohdalle kengän kärkeen. Kaukaa kuvatessa pelissä kuitenkin näiden merkitys on pieni.

Jalkojen jälkeen oli vuoro siirtyä ylävartaloon. Mallinnus aloitettiin samasta vyöstä ekstrusoimalla verteksit ylöspäin. Jälleen kerran vaatteesta luotiin hieman ylisuuri. Käsivarsia luodessa oli jälleen kerran muistettava kyynärpään taipuminen lisäämällä geometriaa sen kohdalle. Mahdollisesti työlläin osa hahmon luonnissa olivat kädet, sillä niissä on useita taipuvia kohtia. Käsistä tehtiinkin sen seurauksena vahva piirteiset ja hieman kulmikkaat. Jättämällä geometriaa jolla käsistä olisi tehty pyöreämmät, helpotettiin työn kulkua huomattavasti.

Viimeinen osa hahmosta oli pää. Paitaan muotoiltiin kaulus, jonka sisäpinnasta alettiin tuomaan kaulaa ylöspäin. Ensiksi hahmoteltiin pään muoto sivusta ekstrusoimalla vain peilaussauvan verteksejä. Muoto luotiin myös edestä ekstrusoimalla reunimmaisat verteksit. Päästä jätettiin pois detaljit, jotka koettiin turhiksi pelin kuvakulman kannalta, kuten silmät ja suu. Nämä luotiin myöhemmin tekstuureja käyttämällä. Hahmon päähän luotiin myös kypärä, jonka avulla osoitettiin viimeistään hahmon olevan sotilas. Kypärän avulla myös säästyttiin mallintamasta hiuksia, joiden tekeminen voisi kestää huomattavasti kypärää pidempään. Kuviossa 10 on esitetty valmis 3D-hahmo.

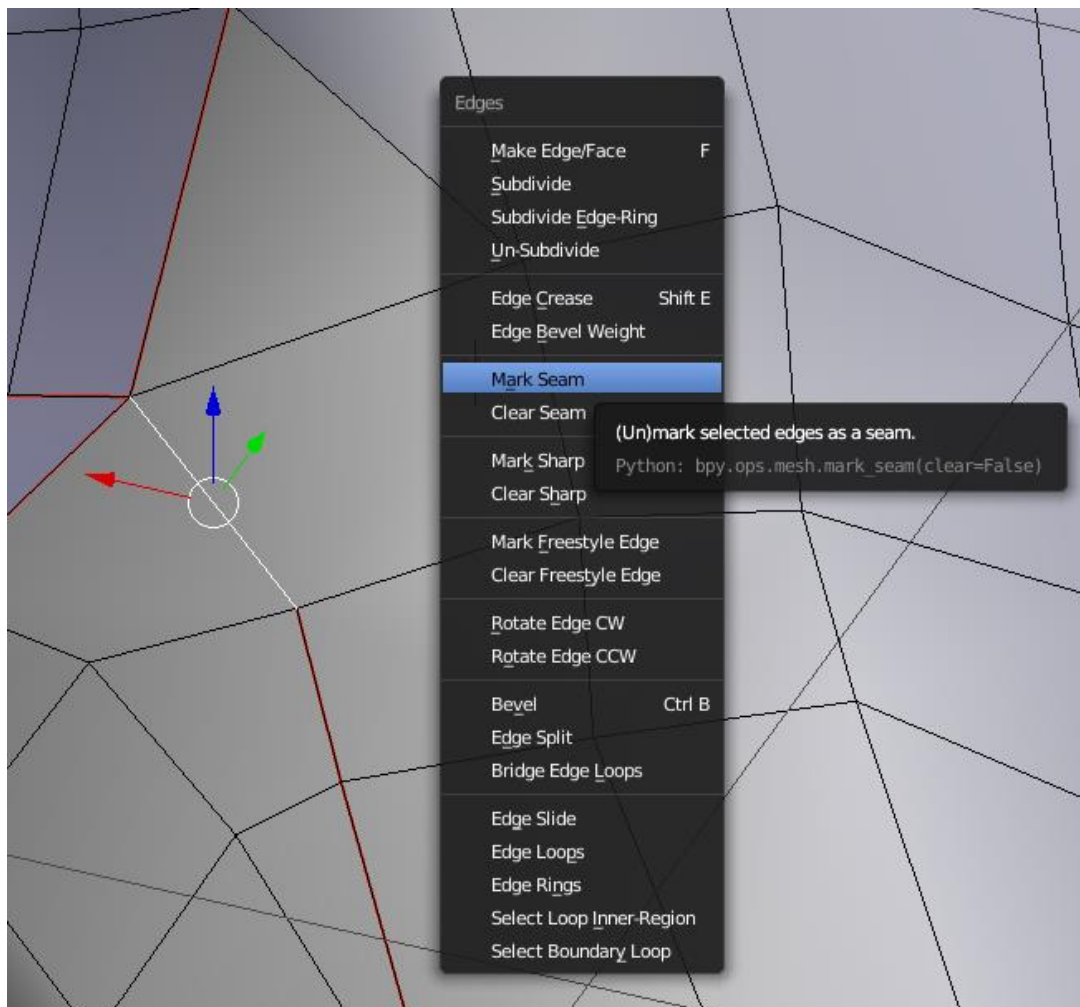


KUVIO 10: Valmis 3D-malli

## 4.2.2 Hahmon valmistelu tekstuureja varten

Viimeisenä hahmon luonnissa oli jäljellä saumojen luominen teksturointia varten. Saumoilla tarkoitetaan niitä kohtia, joista 3D-malli leikataan, kun se halutaan projisoida 2D-pinnalle eli 3D-sovellusten tapauksessa UV-kartalle. Unwrappaaminen tarkoittaa puolestaan prosessia, jossa saumojen rajaamat alueet puretaan UV-kartalle. Saumojen asettelua varten on hyvä kuvitella 3D-malli paperiseksi ja miettiä mistä tulee leikata, jotta palaset saadaan aseteltua tasaiselle alustalle ilman että paperi repeilisi.

Ennen kuin saumat luotiin oli tärkeä varmistaa, ettei mallissa ole verteksejä päällekkäin. Tämä tehtiin valitsemalla malli, siirtymällä muokkaustilaan, valitsemalla kaikki verteksit, painamalla W-näppäintä ja valitsemalla "Remove Doubles". Sama toiminto löytyy vasemmasta palkista Tools-välilehdeltä "Mesh Tools" -kategoriasta. Saumat ovat aina suositeltavaa laittaa mahdollisimman hyvin piiloon tai paikkoihin joissa ne eivät häiritse silmää. Niiden lisääminen tapahtuu helpoiten valitsemalla halutut saumakohdat 3D-mallista ja painamalla Ctrl + E -näppäinyhdistelmää, jolloin aukeaa kuviossa 11 nähtävä valikko, ja valitsemalla "Mark Seam".



KUVIO 11: Saumakohtien lisäys *Ctrl + E* -pikanäppäinvalikosta

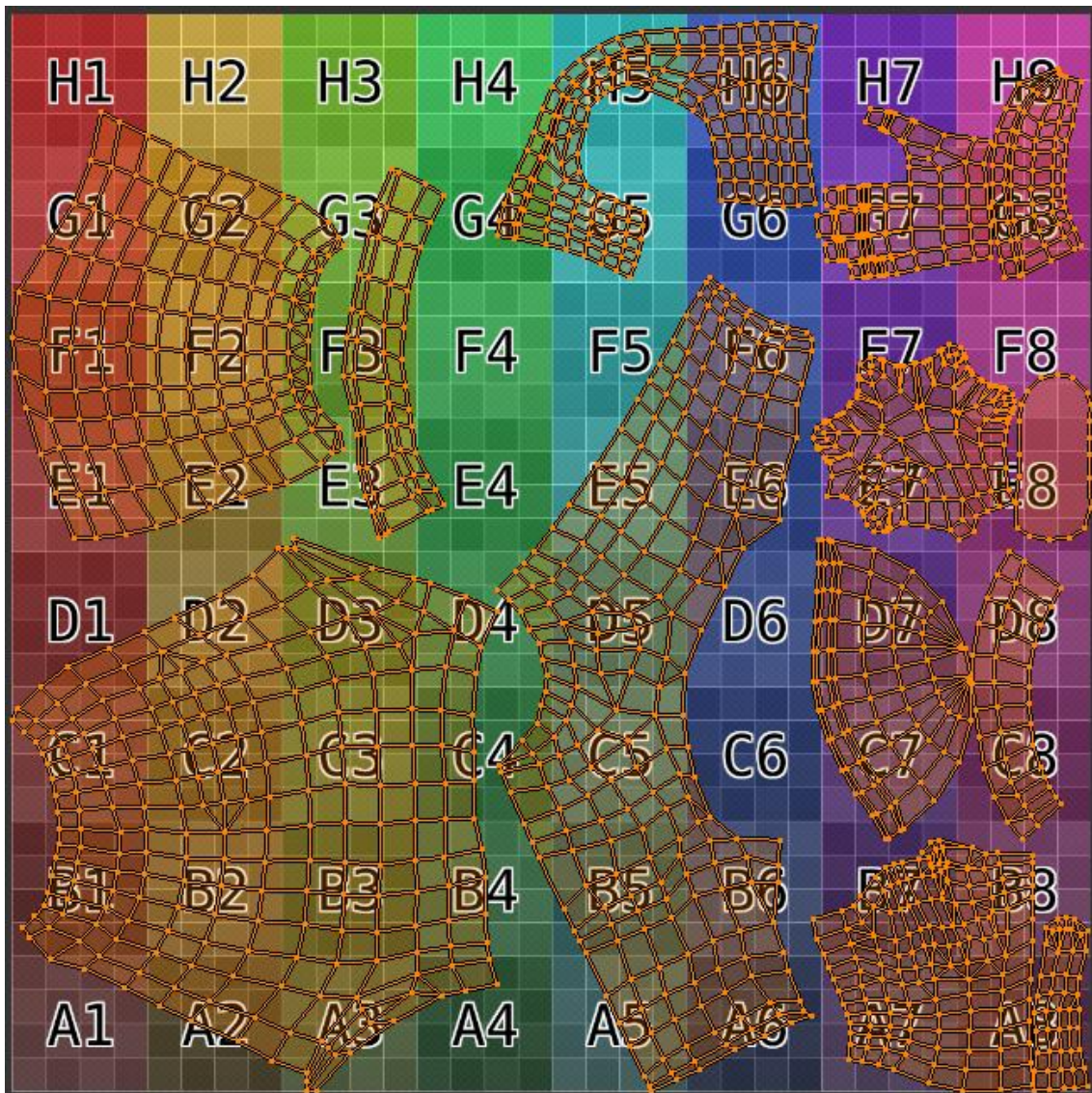
Tässä työssä saumat saatiin melko hyvin piiloon, sillä paikkoja joissa vaatteiden rajat kulkevat on tarjolla useita. Koko mallin halki kulkee yksi sauma peilauskohdassa. Housujen saumat saatiin piiloon vyön reunaan, kenkien rajaan sekä jalan sisäreunaan, jossa housujen sauma kulkee normaalisti. Kengästä saumat laitettiin taakse sekä pohjaan. Myös edestä erotettiin kengän rintakappale omakseen. Paidasta saumat saatiin piiloon niiden oikeille paikoille, eli kylkeen ja olkapään ympärille. Käsivarsissa sauma kulkee myös omalla paikallaan alapuolella piilossa. Kauluksen sisäpintaan luotiin yksi sauma, jotta sen muodot eivät aiheuttaisi vääristymiä muualla tekstuurissa. Kämmenien saumat laitettiin vain mahdollistamaan helppo teksturointi, sillä saumat ovat vaikeat piilottaa näkymättömiin mahdollisten käden liikkeitten vuoksi. Kasvoissa kulkee peilauskohdan sauman lisäksi yksi sauma nenän ympärillä, mutta sauma loppuu silmän viereen. Tekemällä vain osittainen sauma, pystytään estämään tekstuurin venyminen mutta pitämään vielä osat kiinni toisissaan. Päässä kulkee toinen sauma kypärän ja pään rajalla.

Mikäli hahmon tekstuuriin halutaan enemmän vaihtelua, kannattaa hahmolle annettu Mirror-muokkain käydä asettamassa ominaisuusvalikosta. Tällä mahdollistetaan tekstuurin asymmetria, eli erilaisuus peilauskohdan molemmilla puolilla. Asettaminen tapahtuu painamalla Mirror-muokkaimen ruudussa olevaa Apply-painiketta. Muokkaimen asettamisen jälkeen kuitenkin joudutaan vielä lisäämään muutama sauma, sillä sen seurauksena mallia käsitellään kokonaisena. Ilman muokkaimen asettamista tekstuuri peilataan myös. Saumat kannattaa jälleen piilottaa näkymättömiin tai paikoille joissa ne kulkevat oikean maailman vastineissa, kuten vetoketjun kohdalle tai kylkiin. Tässä työssä Mirror-muokkainta ei kuitenkaan aseteta, sillä hahmon tekstuuri voi olla symmetrinen.

Kun saumat oli saatu valmiiksi, tarkistettiin vielä tekstuurien venyminen lisäämällä mallille Blenderin oma "Color Grid"-teksturi. Teksturi saadaan luotua valitsemalla ikkunan tyypiksi kuvamuokkain, "UV/Image Editor", ja klikkaamalla kuvion 12 mukaisessa alapalkissa näkyvää New-painiketta. Au-keavasta ikkunasta valitaan generoitavaksi tyypiksi "Color Grid" ja klikataan OK. Mallille teksturi liitettiin valitsemalla malli ja siirtymällä muokkaustilaan. Muokkaustilassa malli unwrapattiin painamalla U-näppäintä ja valitsemalla "Unwrap". Toinen keino on valita vasemman reunan palkista "Shading/UVs"-välilehti ja klikkaamalla tiputusvalikosta "Unwrap". Taas siirryttiin takaisin kuvamuokkaimeen ja valittiin alapalkin pudotusvalikosta juuri generoitu kuva. Tämän jälkeen ruudun tulisi näyttää samalta, kuin kuviossa 13 on esitetty. Mikäli teksturi ei ilmesty mallille näkyviin, tulee vielä siirtyä takaisin 3D-näkymään ja vaihtaa väritila teksturoituun napauttamalla Alt + Z näppäimiä, tai valitsemalla alapalkista "Viewport Shading"-valikosta "Textured".

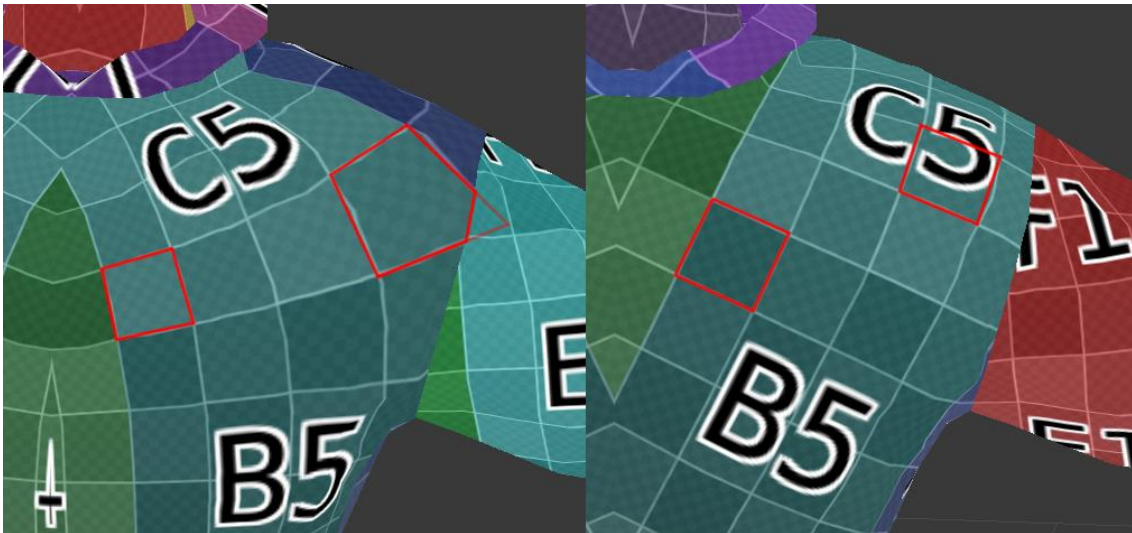


*KUVIO 12: UV/Image Editorin alapalkki*



KUVIO 13: UV-kartta unwrapatulla mallilla ja generoidulla tekstuurilla

Tekstuurista huomattiin heti, että hahmosta oli jäänyt jokin sauma pois, sillä tekstuuri vääntyi sekä venyi hahmon hartian kohdalla. Venymistä aiheuttavat kohdat korjattiin lisäämällä saumoja vaadittuihin kohtiin ja tämän jälkeen hahmo unwrapattiin uudelleen. Venyminen on esitetty kuviossa 14 vasemmalla, jossa punaisten laatikoiden tulisi olla lähes samankokoisia, kuten oikealla puolen olevassa korjatussa versiossa.



KUVIO 14: Vasemmalla virheellinen saumoitus ja oikealla korjattu

### 4.2.3 Riggaaminen

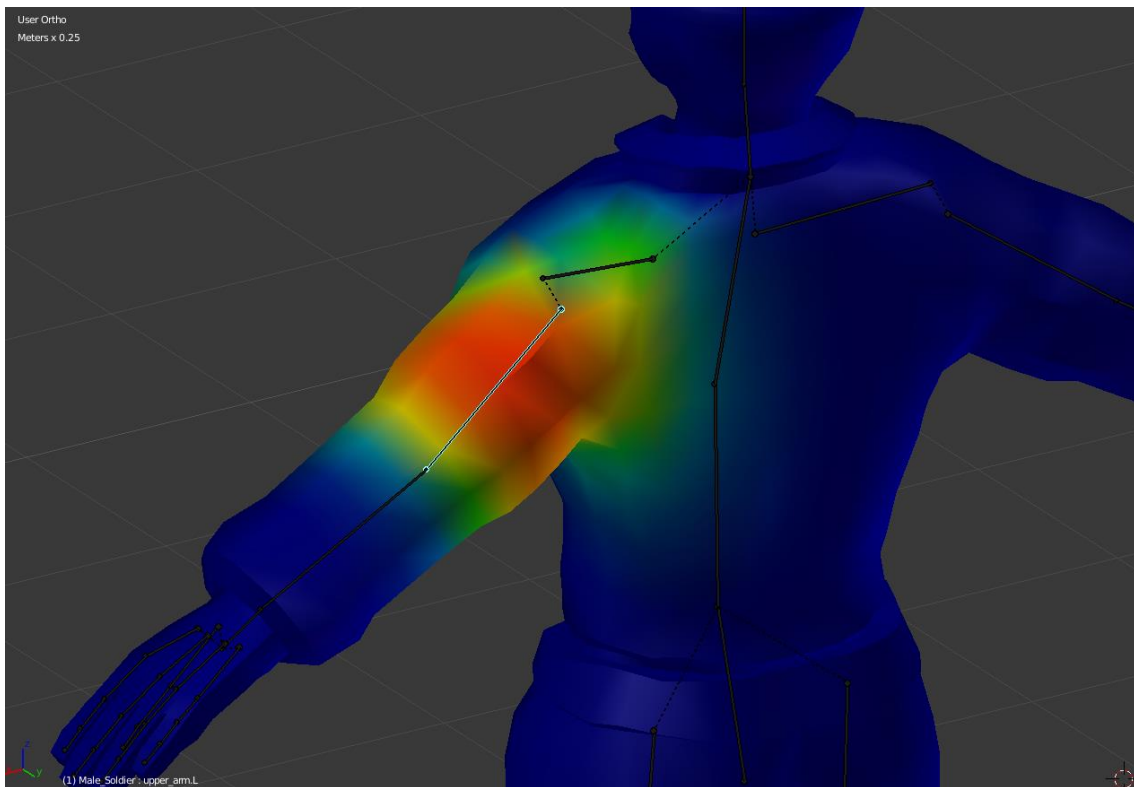
Riggaamisella tarkoitetaan prosessia, jossa 3D-malli ja sille luotu luuranko kiinnitetään toisiinsa. Riggaamisen jälkeen mallille on luotu painoalueet jokaiselle luulle, joita luut ohjaavat animaatioissa. Helpon riggaamisen mahdollistamiseksi mallin ja luurangon tulee olla lähes samankokoisia. Yleensä luuranko kannattaa myös sijoittaa samalla lailla kuten sen oikean maailman vastine on sijoitettu.

3D-mallin ollessa valmis se voitiin kiinnittää luurankoon. Luurankoon kiinnittäminen tapahtui valitsemalla ensin 3D-malli, sen jälkeen luuranko ja painamalla Ctrl + P -näppäinyhdistelmää. Ruudulle aukesi valikko, jossa on useita vaihtoehtoja asettaa malli lapsiobjektiksi luurangolle. Valikosta valittiin "Armature Deform"-valinnan alla oleva "With Automatic Weights". Tämän asetuksen avulla varmistettiin mahdollisimman hyvä alku luiden painoalueille. Automaattinen painoalueiden luonti tuottaa yleensä kohtuullisen hyvin toimivan kokonaisuuden, mutta jokainen luu kannattaa kuitenkin testata vielä erikseen ongelmien välttämiseksi.

Työssä kuitenkin haettiin vielä hieman parempaa lopputulosta, joten painoalueita ruvettiin säätämään manuaalisesti. Säätäminen onnistuu Blenderin "Weight Paint" tilassa johon voidaan siirtyä valitsemalla malli ja vaihtamalla 3D-näkymän alapalkista "Object Mode" valinta kyseiseen tilaan. Painojenmuokkaustilassa 3D-malli muuttuu siniseksi ja viimeksi valitun luun ympärille ilmestyy erilaisia värejä. Värit merkitsevät luiden painoja. Lisäksi valittiin hahmon luuranko ja vaihdettiin sen

”Object Mode” poseeraustilaan, ”Pose Mode”. Tämä valinta mahdollisti luiden valitsemisen erikseen ja yksittäisen painoalueen muuttamisen. Poseeraustilassa voidaan myös testata painoalueet helposti painamalla R-näppäintä ja liikuttamalla hiirtä ruudulla.

Luut käytiin yksitellen lävitse ja jokaista niistä pyöritettiin ensin ääriasentoihin, jotta nähtiin, oliko painoalue ottanut haltuun verteksejä vääristä paikoista. Tällaisia ongelmia voi yleensä ilmetä, jos malli on tehty pitämään kädet alhaalla eikä t-asennossa. Tällöin muun muassa käsien luut saattavat ottaa mukaansa hahmon vyötäröä tai jalkoja. Kun todettiin, että luiden painoalue on rajattu oikeisiin ruumiinosiin, ryhdyttiin säätämään alueet vielä tarkemmin. Tarkemmilla säädöillä haluttiin poistaa muun muassa liikkeit kaulasta tai päästä, jotka aiheutuivat liikuttamalla hahmon käsivartta. Käsivarrelta poistettiin myös vaikutusta selästä, jossa se siirteli selän keskimmäisiä verteksejä ulos- tai sisäänpäin selkärangasta. Käsivarren lopullinen vaikutus nähdään kuvioista 15.



KUVIO 15: Käsivarren vaikutusalue mallissa. Punainen tarkoittaa vahvempaa vaikutusta

#### 4.2.4 Tekstuurin luominen

Hahmon ollessa valmis, siirryttiin tekstuurien pariin. Tekstuurin luomiseen käytettiin GIMP-sovellusta. Ennen kuin sovellukseen siirryttiin, piti kuitenkin saada vielä UV-kartta ulos Blenderistä, jotta



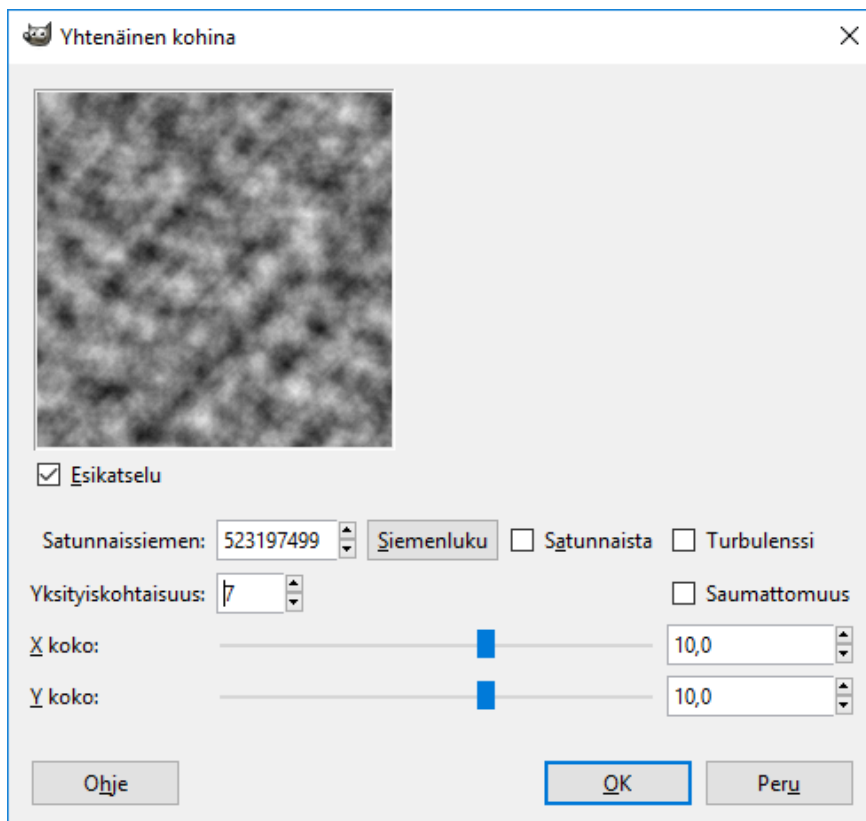
tiedettiin mihin osaan tekstuuria maalataan mitään. Lopullista tekstuurin tekemistä helpotettiin vielä luomalla Blenderin maalaustyökalulla väripohja tekstuurille. Maalaaminen onnistui vaihtamalla 3D-näkymän alapalkista sen tila "Texture Paint"-tilaan. Tilan vaihtuessa, myös työkalut muuttuivat täysin uusiin maalaamiseen keskittyviin vaihtoehtoihin. Blender antoi vasempaan palkkiin ilmoituksen puuttuvasta tekstuurista, joten hahmolle luotiin uusi maalattava tekstuuri valitsemalla ilmoituksen alla olevasta pudotusvalikosta "Diffuse Color", jolla tarkoitetaan väripintaa. Muita vaihtoehtoja valikossa olivat muun muassa "Alpha" ja "Normal" jotka vaikuttavat tekstuurien läpinäkyvyyteen ja pinnanmuotoihin. Aukeavasta ikkunasta voitiin valita tekstuurin nimi, koko, väri sekä mahdollinen generointi. Näistä muutettiin vain väriä, sillä nimi ja koko olivat sopivat. Väriksi valittiin tumman vihreä, sillä hahmosta suurin osa käyttää kyseistä väriä.

Lopun hahmon maalaaminen aloitettiin kytkemällä 3D-näkymässä maski päälle painamalla M-näppäintä. Tämän jälkeen valittiin maalattavat alueet painamalla L-näppäintä kursorin ollessa niiden päällä. Kyseisellä valinnalla pystyttiin valitsemaan saumojen rajaamat alueet. Ensiksi valittiin tummalla värillä maalattavat hansikkaat ja kengät. Työkaluksi vaihdettiin vasemmasta palkista täyttötyökalu "Brush"-otsikon alla olevaa kuvaketta painamalla ja valitsemalla "Fill". Työkalun alta vaihdettiin väriksi haluttu ja 3D-näkymässä vain klikattiin maskista valittua aluetta. Pelkästään valitut alueet värjäntyvät. Tämä toistettiin jokaiselle alueelle, joka haluttiin eri värillä. Lopuksi vaihdettiin työkaluksi "TexDraw", jolla voidaan maalata pintaan vapaita kuvioita. Tällä työkalulla maalattiin kasvoihin viivat suun ja silmien kohdille, jotta ne voitiin maalata myöhemmin GIMP:ssä oikeille paikoille.

Väripohjan ollessa valmis, ikkuna vaihdettiin kuvaeditoriin, josta pohja tallennettiin tietokoneelle tiedostoksi. Tallentaminen tapahtui valitsemalla editorin alapalkista kuvaksi juuri maalattu väripohja ja painamalla F3-näppäintä. Tiedostolle valittiin nimi ja kansio, jonka jälkeen tarkistettiin asetukset näytön vasemmasta reunasta. Väripohjan lisäksi tallennettiin vielä UV-kartta, josta nähdään jokaisen tahkon reunat. Tallentaminen onnistui painamalla editorissa Tab-näppäintä ja valitsemalla alapalkista UVs-valikosta "Export UV Layout". Tallennusruudussa valittiin taas sijainti ja nimi, sekä tällä kertaa kytkettiin asetuksista "All UVs" päälle ja vaihdettiin "Fill Opacity"-asetuksen arvo nolaksi.

Tiedostot avattiin GIMP:ssä avaamalla ensin väripohja uutena kuvana ja sitten UV-kartta uutena tasona. UV-kartan peittokyky asetettiin Taso-ikkunasta kahteenkymmeneen, jotta se ei peittänyt liikaa väripohjaa, kun sitä työstiin. Taso-ikkunasta valittiin myös aktiiviseksi tasoksi väripohja.

Työkalupakista valittiin työkaluksi värivalinta, josta raja-arvo muutettiin viiteen. Työkalulla valittiin vihreä pohja, jonka jälkeen luotiin uusi taso Tasot-ikkunan alla olevasta paperikuvakkeesta. Uudelle tasolle lisättiin pilvitekstuuri suotimet-valikosta hahmota, ja pilvet valintojen alta. Valinnan nimi oli ”Yhtenäinen kohina”. Aukeavasta ikkunasta muutettiin asetukset kuvion 16 mukaisiksi. Seuraavaksi uudelle tasolle asetettiin uudet kynnsarvot työkalupalkin Värät-valinnan alta. Vasemman reunan arvoksi asetettiin 100, ja oikean reunan arvoksi 150.



KUVIO 16: Yhtenäinen kohina -asetukset

Arvojen asettamisen jälkeen valittiin värivalinnalla valkoiset alueet ja painettiin Delete-näppäintä. Tämä muutti kaikki valkoiset alueet läpinäkyviksi. Valinta alue käännettiin painamalla Ctrl + I -näppäinyhdistelmää, jonka jälkeen valittiin työkaluksi ämpärytyökalu ja väriksi haluttu ruskean sävy. Ämpärytyökalulla klikattiin kuvaa, jolloin kaikki mustat alueet täytettiin uudella värillä. Tässä vaiheessa maastokuvio oli valmis ja kuvasta piilotettiin UV-kartta klikkaamalla silmän kuvaa tasot-ikkunasta UV-kartan kohdalta. Sitten tiedosto tallennettiin käyttämällä tiedoston korvausta, jolloin GIMP tallentaa kuvan avautuneen tiedoston päälle käyttäen samoja asetuksia. Maastokuvion jälkeen hahmolle alettiin lisätä pienempiä yksityiskohtia sivellintyökalulla. Kuviossa 17 tekstuuri on asetettu hahmolle Blenderissä.



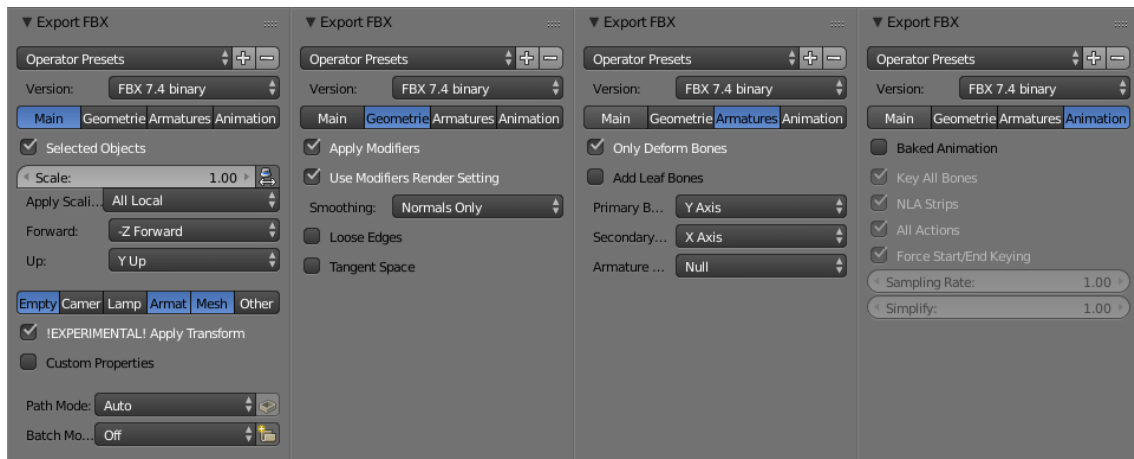
*KUVIO 17: Valmis hahmo kuvattuna Blenderissä*

## 5 HAHMON VIEMINEN UNITYYIN

### 5.1 Tiedostojen vienti Unityyn

Unity tarjoaa muutamia vaihtoehtoja hahmon tuontiin. Hahmo on mahdollista tallentaa Blenderin omana BLEND-tiedostona, tai FBX-tiedostona. FBX tiedostona tallentaessa parametreja voidaan säätää enemmän, mutta samalla voidaan törmätä useampiin ongelmiin. BLEND tiedostona taas vienti Unityyn onnistuu helposti, sillä Unity osaa muuntaa BLEND tiedostot itse. Tiedostojen muuntaminen kuitenkin vaatii, että Unityä käytävällä koneella on Blender asennettuna, muuten se ei osaa lukea tiedostoa.

Tässä tapauksessa hahmo tallennettiin FBX muodossa, jolloin sen toimivuus taattiin kaikilla laitteilla. Tiedostoa viedessä kokeiltiin useita eri asetuksia ja lopulta löydettiin asetukset jotka toimivat hyvin eikä niissä tullut mitään ylimääräistä Unityyn. Tiedostot testattiin aina yhdellä kävely animaatiolla ja mikäli ongelmia kohdattiin, koitettiin uusia asetuksia. Vieminen tapahtui valitsemalla sekä luuranko, että 3D-malli ja menemällä työkalupalkin ”File”-valikosta ”Export”-kohtaan ja valitsemalla ”FBX”. Kuviossa 18 on esitetty kunkin välilehden vientiasetukset.



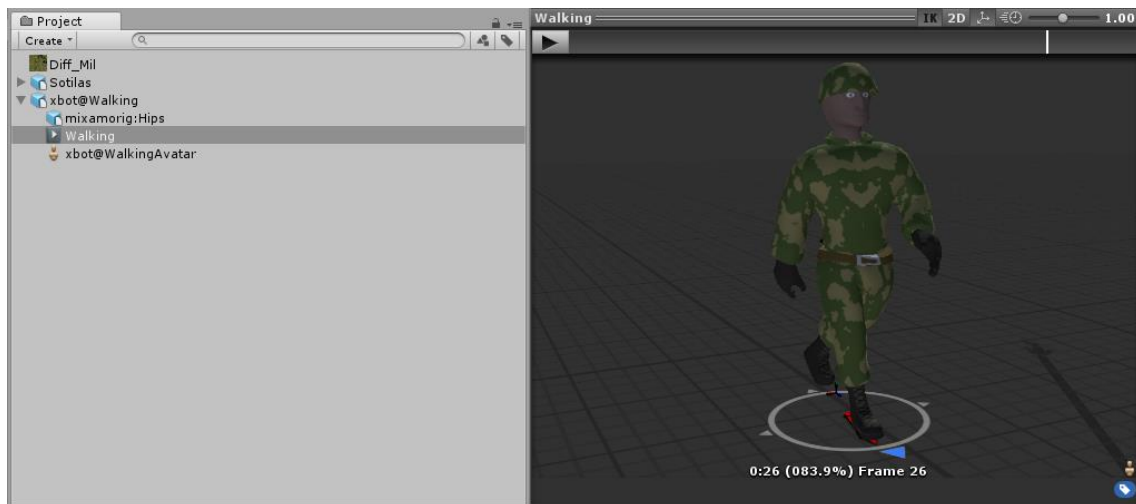
KUVIO 18: FBX -tiedoston vientiasetukset jokaisesta välilehdestä

### 5.2 Tiedostojen käyttö Unityssa

Lopullisella tavalla tallennettujen tiedostojen käyttö Unityssa oli yksinkertaista. Aluksi luotiin uusi projekti Unityyn, jotta saatiin käyttöön Unityn vakioasetukset. Tiedostojen vienti Unityyn tapahtui

perinteisellä raahaa ja tiputa -menetelmällä, eli etsittiin tiedosto resurssienhallinnassa ja vedettiin tiedosto Unityn projekti-ikkunaan. Hahmon testaamiseen ladattiin internetistä ilmainen kävelyanimaatio. Myös lukuisia muita animaatioita oli tarjolla, mutta kävelemisellä voitiin helposti tarkistaa suunnitellussa pelissä tapahtuvat liikkeet. Mikäli hahmoa aiottaisiin käyttää lähempää kuvatussa ja runsasliikkeisessä pelissä, kannattaa hahmo tarkistaa aina suurempia liikkeitä sisältävällä animaatiolla. Animaatio ladattiin Adoben ylläpitämästä Mixamosta. Myös ladattu animaatiotiedosto, sekä aiemmin luotu tekstuuri tuotiin Unityyn raahausmenetelmällä.

Seuraavaksi hahmo sekä animaatio piti saada toimimaan yhdessä. Suurimman osan työstä hoiti Unityn animaatiojärjestelmä, Mecanim. Hahmolle sekä animaatiolle tuli kuitenkin ensin luoda avatarit, jotka kertovat Unitylle mikä luu on mikäkin. Avatar luotiin valitsemalla hahmo tai animaatio projekti-ikkunasta ja siirtymällä sen jälkeen "Inspector"-ikkunassa "Rig"-välilehteen. Animaation tyyppiä valittiin molemmissa tapauksissa "Humanoid", joka tarkoittaa kaksijalkaista ihmismäistä luurankoa. Avatar määritettiin kussakin itse mallista, eli "Avatar Definition" kohtaan valittiin "Create From This Model". Muutokset hyväksyttiin klikkaamalla "Apply"-nappia. Mikäli animaatioiden kanssa kohtaa ongelmia, Mecanim antaa käyttäjän muokata luiden sijaintia. Esimerkiksi selkärangasta voidaan määrittää mahdollinen ylimääräinen luu yläseläksi, jos alkuperäisen asetuksen kanssa toidetaan joitain ongelmia. Muutokset asetettua, avattiin projekti-ikkunasta animaatio tiedosto klikkaamalla sen vieressä olevaa pientä nuolta ja valittiin itse animaatio. "Inspector"-ikkunan alareunaan aukeaa ruutu, jossa näkyy Unityn vakio hahmo. Hahmo voidaan korvata vetämällä oma hahmo projekti-ikkunasta ruutuun. Animaatio voidaan toistaa klikkaamalla ruudun yläreunassa olevaa toistopainiketta. Tekstuuria hahmolle ei tarvitse erikseen liittää, sillä Unity osaa liittää tekstuurit automaattisesti, mikäli tiedostojen nimet täsmäävät Blenderissä annettuihin tekstuurien nimiin. Kuviossa 19 näkyy projekti-ikkuna sekä animaatoruutu, jossa työn aikana toteutettu hahmo.



*KUVIO 19: Lopputulos, jossa hahmo suorittaa kävelyanimaatiota Unityssa*

## 6 POHDINTA

Työssä oli tarkoituksena suunnitella ja tuottaa Unityssa toimiva hahmo, jolle voidaan liittää animaatioita. Mielestäni työssä onnistuttiin ja lopputuloksena oli sulavasti animaatioita käyttävä 3D-malli tekstuureineen. Työn aikana saatiin myös selville hyvät vientiasetukset FBX tiedostoille, joita tulen ehdottomasti käyttämään jatkossa ainakin omissa projekteissa. Asetusten jäljiltä 3D-mallit pitävät kiertonsa, eivätkä kaadu 90-astetta jollain akselilla, kuten mallit tyypillisesti tekevät Blenderistä videssä.

Työn aihe oli itselleni erittäin kiinnostava ja hyödyllinen. Itse prosessissa en kohdannut hirveästi ongelmia, jonka vuoksi pyrin kuvailemaan prosessin vaiheita tarkemmin. Kohdatut ongelmatkin ratkesivat pienillä korjauksilla, eivätkä ne hidastaneet työn etenemistä juurikaan. Ongelmia kuitenkin tuotti työn itsenäisyys, sillä en ole hyvä aikatauluttamaan asioita, jonka seurauksena työntekoa tuli lykättyä aina myöhemmäksi. Seminaareja sopiessa kuitenkin pakotti itsensä työskentelemään, jolloin tekeminen kyllä sujui. Kirjoittaminen oli kuitenkin itselle haastavinta, sillä en koe olevani tehokas kirjoittamaan asiatekstiä. Olen kuitenkin tyytyväinen tuottamaani sisältöön ja lopputulokseen.

Työn eteneminen ei sujunut alkuperäisen suunnitelman mukaan, vaan työtä tuli tehtyä muutamissa lyhyissä erissä. Loppuvaiheilla työssä jouduttiin ottamaan myös hieman takapakkia, kun aihe rajoittui pelidemon tekemisestä pelkän toimivan hahmon toteuttamiseen. Tekstiä jouduttiin poistamaan ja osa tekstistä piti muokata nykyiseen aiheeseen paremmin sopivaksi. Työn tekeminen myös hidastui välillä merkittävästi, kun jostain aiheesta ei keksinyt kirjoitettavaa ja sen sijaan kirjoittamista jatkoi erikohtaan. Myöhemmin, kun tuli lisättävää aiempaan kohtaan, tekstin rakennetta jouduttiin muokkaamaan.

Työn jäljiltä olen vielä varmempi, että 3D-mallinnus on ala, jolle haluan työllistyä. Työtä tulen mahdollisesti vielä hiomaan vapaa-ajalla, jotta siitä saa sisältöä portfolioon. Myös työssä esiteltyä hahmon ympärille suunniteltua peli-ideaa olen innokas aloittamaan, mutta aika näyttää miten kyseinen ottaa tuulta alleen.

## LÄHTEET

Blender, 2018. Introduction. Viitattu 22.01.2018, [https://docs.blender.org/manual/en/dev/getting\\_started/about/introduction.html](https://docs.blender.org/manual/en/dev/getting_started/about/introduction.html)

Unity, 2018a. Products. Viitattu 23.01.2018, <https://unity3d.com/unity>

Unity, 2018b. Unity Plus. Viitattu 23.01.2018, <https://store.unity.com/products/unity-plus>

Wikimedia Foundation, 2018a. 3D computer graphics. Viitattu 26.3.2018, [https://en.wikipedia.org/wiki/3D\\_computer\\_graphics](https://en.wikipedia.org/wiki/3D_computer_graphics)

Rouse, M. 2016. What is 3D model. Viitattu 26.3.2018, <https://whatis.techtarget.com/definition/3D-model>

Pluralsight, 2015. Learning the Basics of Blender Animation Tools. Viitattu 26.3.2018, <https://www.pluralsight.com/blog/tutorials/basics-of-blender-animation-tools>

Singh, M. 2015. Different Techniques Used for 3D Modeling. Viitattu 29.3.2018, <http://findnerd.com/list/view/Different-Techniques-Used-for-3D-Modeling/11819/>

Wikimedia Foundation, 2018b. Skeletal animation. Viitattu 29.3.2018, [https://en.wikipedia.org/wiki/Skeletal\\_animation](https://en.wikipedia.org/wiki/Skeletal_animation)

Innovects, 2017. Mobile Gaming vs PC-gaming: Tendencies in Game Industry Development, Viitattu 2.4, <https://www.innovects.com/ideas-portfolio/mobile-gaming-vs-pc-gaming-tendencies-in-game-industry-development/>

Techopedia, 2018. What is Level of Detail (LOD)? Viitattu 2.4.2018, <https://www.techopedia.com/definition/11791/level-of-detail-lod>

GIMP, 2018. About GIMP. Viitattu 6.5.2018 <https://www.gimp.org/about/introduction.html>