

Jyri Saloranta

## Vaatteiden mallintaminen hahmoille



Tradenomi (AMK)  
Tietojenkäsittelyn koulutus-  
ohjelma  
Syksy 2021



KAMK • University  
of Applied Sciences

## **Tiivistelmä**

**Tekijä:** Saloranta Jyri

**Työn nimi:** Vaatteiden mallintaminen hahmoille

**Tutkintonimike:** Tradenomi (AMK), Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma

**Asiasanat:** 3D-mallintaminen, simulaatio, hahmomallinnus

Työ käsittelee realististen vaatteiden mallintamista hahmoille. Työssä käydään läpi erilaisia metodeja sekä ohjelmistoja ja niiden vahvuuksia sekä puutteita erityisesti realismia haettaessa. Työssä esitellään ohjelmistoja, kuten Marvelous designer, joka tuotantomenetelmillään mallintaa oikeaa vaatetuotantoa.

Aluksi käydään läpi eri mallinnustapoja, kuten polygonimallinnus, digitaalinen veistäminen, vaatesimulaatio sekä fotogrammetria. Työtavoista katsotaan tarkemmin simulaatiota, jota hyödynnetään myöhemmin myös käytännön osuudessa vaatekappaleiden luomisessa.

Käytännön osuudessa käydään läpi yksityiskohtaisemmin vaatteiden mallintamista pelihahmolle vaatesimulaatiota hyödyntäen. Osuudessa toteutetaan vaatekappale simuloimalla se, jonka jälkeen siihen lisätään yksityiskohtia, tämän jälkeen tehdään pelivalmismalli, joka vielä lopuksi teksturoidaan. Vaatesimulaatio lisää työnkulkuun uuden ohjelmiston, jolla vaatemallin perusmuodot ja istuvuus hahmolle saadaan mallinnettua. Sen ei ole tarkoitus korvata mitään työvaihetta, vaan enemmänkin lisätä uuden askeleen työnkulkuun.

## **Abstract**

**Author:** Saloranta Jyri

**Title of the Publication:** Creation of Realistic Clothing for a Game Character

**Degree Title:** Bachelor of Business Administration, Business Information Technology

**Keywords:** 3D-Modeling, Simulation, Character modeling.

the Subject of this Bachelor's thesis was modeling realistic clothing for characters. The work reviews various methods and software as well as their strengths and weaknesses, especially when looking for realism. The work introduces software such as Marvelous designer, which uses production methods derived from real clothing production.

Initially, various modeling techniques are examined, such as polygon modeling, digital sculpting, cloth simulation, and photogrammetry. Cloth simulation is considered in more detail and it is later utilized in the practical part of creating garments for a game character.

In the practical part, we go through the pipeline of modeling clothes for a game character. In this section, a garment is initially modeled by simulating it, after which it is detailed, then a game-ready model is made, which will lastly be textured. Cloth simulation adds new software to the modeling pipeline. It is not intended to replace any software or steps in the pipeline, but rather to add a new step in it.

## Sisällysluettelo

1	Johdanto .....	1
2	Polygonimallinnus .....	2
3	Digitaalinen veisto .....	4
4	Fotogrammetria.....	6
5	Vaatesimulaatio.....	8
5.1	Vaatekaavat.....	9
5.2	Vaatesimulaatio videopeleissä.....	10
5.3	Marvelous Designer .....	12
6	Teksturointi.....	13
6.1	Substance Painter.....	15
6.2	Substance Designer .....	16
7	Vaatekappaleen valmistus pelihahmolle.....	17
7.1	Suunnittelu .....	17
7.2	Referenssi ja kaavat.....	<b>Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.</b>
7.3	Simulaatio Marvelous Designerilla .....	20
7.4	Digitaalinen veisto .....	24
7.5	Topologian uudelleenluominen pelivalmiiksi malliksi .....	26
7.6	Teksturointi .....	28
8	Pohdinta .....	34
9	Yhteenveto .....	35

## Symboliluettelo

Fotogrammetria – Kolmiulotteista mittausta valokuvien avulla. Tekniikalla pystytään luomaan virtuaalisia 3D-versioita esineistä tai paikoista.

GNU-lisenssi – Ohjelmistoille tarkoitettu lisenssi, joka antaa kenelle tahansa oikeuden käyttää, kopioida, muuttaa ja jakaa edelleen lähdekoodia tai ohjelmistoa.

PBR – Renderöintitekniikka, joka pyrkii mallintamaan valon käyttäytymistä oikean maailman mukaan.

Reuna – kahden verteksin välille vedetty viiva.

Topologia – Kuinka 3D-mallin verteksireunat on jaoteltu ja muodostettu

Topologian uudelleenluominen – 3D-mallin uudelleen mallintaminen siten, että topologia on tietynlaisen tarkoituksen mukaan.

Vaatesimulaatio – Vaatteiden ja kankaan dynamiikan jäljittelyä.

Verteksi – Piste 3D-avaruudessa.

Polygoni – Vähintään 3 verteksin muodostava pinta, joista 3D-mallit muodostetaan.

Korkeapolygoninen malli - Optimoimaton 3D-malli, jossa on tarkoitus olla paljon yksityiskohtia.

Pelivalmismalli - Optimoitu 3D-malli, joka on tarkoitettu peliin käytettäväksi

Varjostin – Kertoo, kuinka 3D-malli renderöidään.

Proseduraalinen generointi - Jonkin datan luominen algoritmia käyttäen

Tekstuurin leipominen – Yksityiskohtien tai muun datan siirtämistä 3D-mallista toiseen.

## 1 Johdanto

Vaikka peleissä ei olisi suoranaista tarinaa, tai se ei olisi keskiössä, niin melkein aina jonkin verran tarinallisuutta tulee useissa muodoissa pelingrafiikassa. Kentät, esineet, vastustajat sekä itse pelaaja kertovat jonkinlaista tarinaa olemuksellaan.

Pelaajahahmolla vaatteet kertovat hahmon persoonallisuudesta, mistä hän on peräisin ja millainen hän on. Hahmon taustat vaikuttavat paljon vaatteisiin, joita pelaajalla on päällä. Myös pelin tapahtumat voivat vaikuttaa pelaajan vaatetukseen. Pelaajan löytäessä uuden haarniskan tai pelin aikana tullut miekan isku voivat vaihtaa tai muokata olemassa olevaa vaatetusta.

Simulaatiosta on tullut tärkeä osa työntekoa peligrafiikan kehittyessä ja puskettaessa eteenpäin realismin rajoja hahmomallinnuksessa. Aidon näköisten vaatekappaleiden ja erityisesti niiden laskeutus sekä istuvuus hahmon päällä on tärkeää. Simulaatioon pohjautuva työkulkua käytetään paljon erityisesti AAA-pelituotannossa, jossa pelien elokuvamaisuus ja isommat katseluresoluutiot tuovat tarpeen tarkemmille ja yksityiskohtaisille hahmoille.

Tässä työssä käydään läpi erilaisia työtapoja vaatemallinnukseen ja kuinka vaatesimulaatiota voidaan hyödyntää hahmomallinnuksessa. Teoria osuudessa käydään läpi 3D-mallinnustekniikoita hahmojen vaatemallinnuksen näkökulmasta. Katsotaan eri tapoja mallintaa ja niiden vahvuuksia ja puutteita. Käytännön osiossa valmistetaan vaatekappale hyödyntäen simulaatiota.

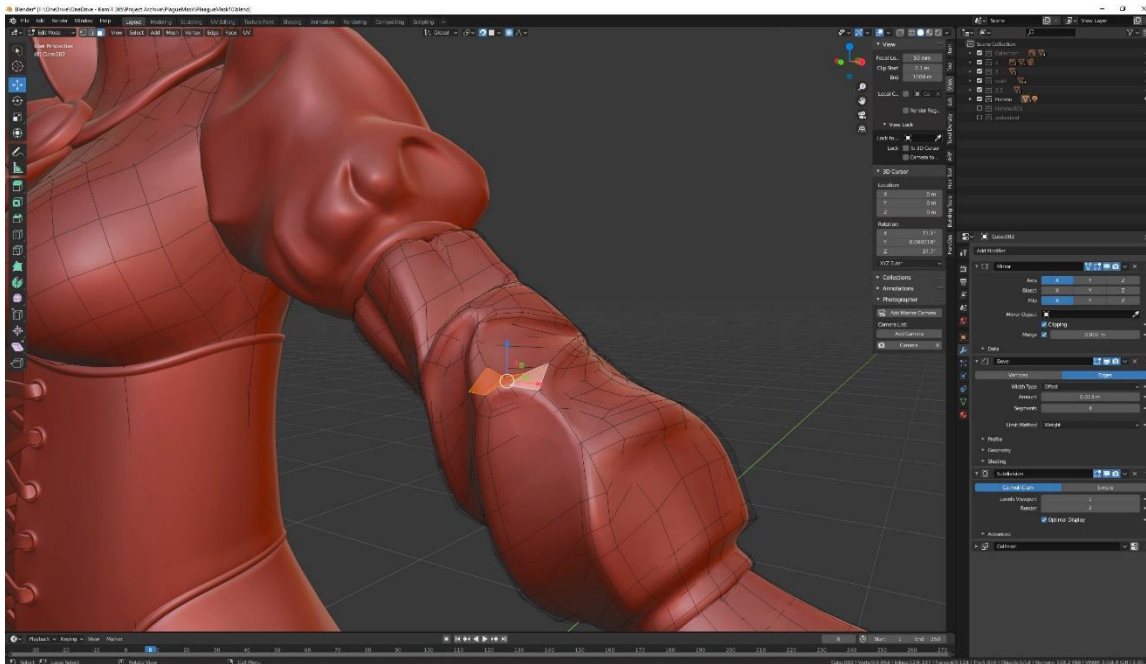
## 2 Polygonimallinnus

3D-mallinnus on digitaalisen kolmiulotteisen grafiikan luontia. 3D-mallinnus perustuu matemaatiikkaan ja mallinnustapoja on useita erilaisia. Usein tietyn mallin tekemiseen on monia eri ohjelmistoja, tekniikoita ja työtapoja samanlaisen jäljen saamiseksi. Usein mallinnuskeinoilla on myös omia hyviä ja huonoja puolia. Oikean mallinnuskeinon valitseminen tulee tekijän tarpeiden pohjalta. [1,2.]

Polygoninen mallinnus tarkoittaa 3D-primitiivimuodoista aloitettavaa mallintamista. Polygonisessa mallinnuksessa pääasiassa liikutellaan yksittäisiä polygoneja, reunoja tai verteksejä. Tämä mahdollistaa tarkan hallinnan pienistäkin yksityiskohdista, mutta polygonien määrän kasvaessa niiden liikuttelu voi alkaa tuntua hankalalta. [2.]

Vaatemallinnuksessa polygonimallinnus tuo hankaluuksia monimutkaisten rypistyksien kanssa. Yksinkertaisemmat vaatekappaleet, kuten t-paidat, voi olla mahdollisia tehdä, mutta sekin on aikaa vievää. Polygonimallinnus sopiikin hyvin matalapolygonisiin malleihin, eli itse pelimoottoriin menevien 3D-mallien tekemiseen. Matalapolygoniset mallit mallinnetaan yleensä suoraan korkeapolygonisten eli erittäin tarkkaan mallinnettujen 3D-mallien päälle. Niissä halutaan tarkkaan ohjata topologian kulkua, jotta myöhemmin animaatiossa mallin liikuessa ei tule ongelmia. [2,3.]

Tässä opinnäytetyössä polygonimallinnukseen käytetään Blender-ohjelmaa. Se on ilmainen avoimen lähdekoodin 3D-mallinnusohjelma. Vuonna 1995 julkaistu ohjelmisto nykyään tukee monia toimintoja 3D-mallinnuksen ja siihen liittyvien asioiden lisäksi, kuten videoeditointia ja liikkeen seuraamista. Ohjelmisto on lisensoitu GNU-lisenssillä. Lisenssi mahdollistaa Blenderin vapaan jakamisen sekä sen muokkaamisen. Tämä avoimen lähdekoodin malli on kehittänyt Blenderin ympärille ison yhteisön käyttäjiä ja kehittäjiä. Pääasiassa Blenderin kehityksestä vastaa Blender Foundation -säätiö. Voittoa tavoittelematon organisaatio saa rahoitusta käyttäjä yhteisöltä, sekä yrityksiltä, jotka lahjoittavat rahaa ohjelmiston kehitystä varten. Blenderin ympärille on myös kehittynyt iso lisäosa/ työkalujen kehitysyhteisö, joka tekee työskentelyä tehostavia työkaluja. Vaikka Blender ei ole historiallisesti ollut yleisessä käytössä pelialalla, se on alkanut ajan myötä keräämään laajemmin käyttäjiä sekä rahoitusta. Useat isot pelialan yritykset ovat alkaneet ottaa sen mukaan käyttöönsä ja/tai lahjoittaneet sen kehitysvaarastoon. Blenderissä itsessään on paljon muitakin ominaisuuksia kuin polygonimallinnus. [4,5,6.]



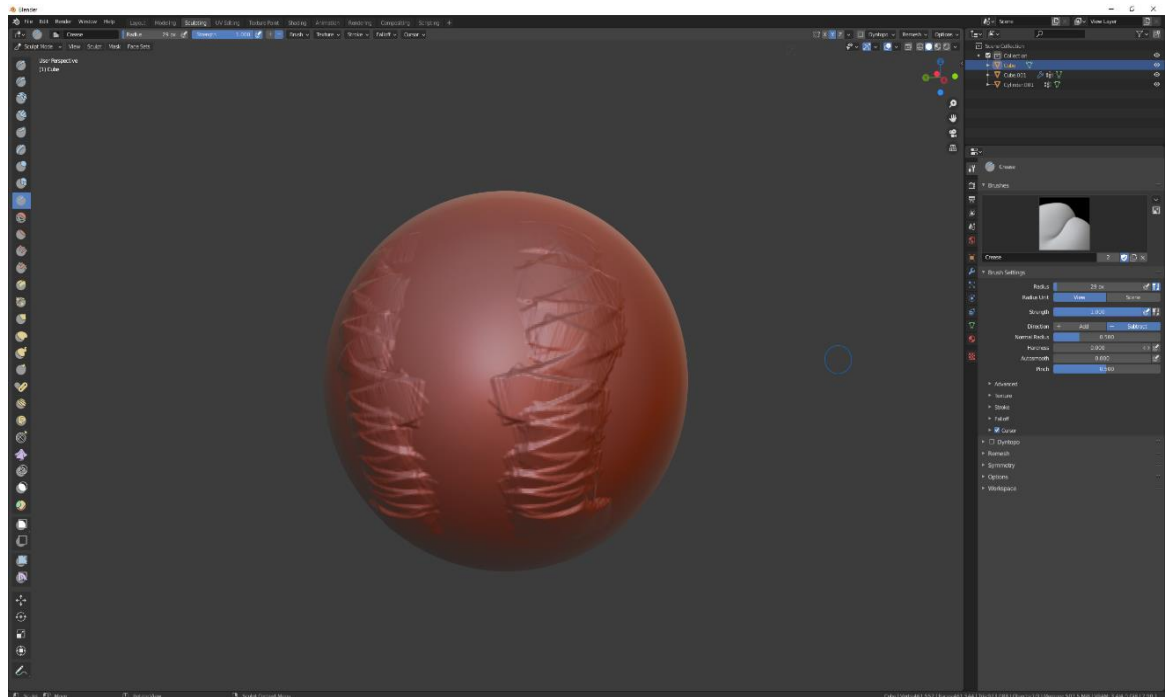
Kuva 1. Polygonimallinnus Blenderissä



### 3 Digitaalinen veisto

Digitaalinen veisto on tärkeä 3D-mallituksen työkalu, erityisesti orgaanisten muotojen tekemiseen. Polygonimallinnukseen nähden digitaalinen veisto saattaa nopeuttaa työaikaa huomattavasti. Polygonien määrä on huomattavasti suurempi. Yksittäisten verteksin, reunojen tai polygoonien sijasta digitaalisessa veistossa käytetään siveltimiä, jotka mahdollistavat digitaalisen saven muokkaamisen eri tavoilla. Graafikko pystyy esimerkiksi työntämään, vetämään, hiomaan massaa, josta saa tehokkaasti työstettyä, mitä ikinä haluaakaan. [7].

Digitaalinen veisto on erinomainen työkeino vaatemallinnuksessa. Polygonimallintamiseen verrattuna veistossa liikuteltava polygonimäärä on isompi, mikä mahdollistaa tehokkaamman orgaanisen muodon luomisen. Huomioon otettavaa veistossa kuitenkin on vaatteiden laskostus ja rypytyminen, joka täytyy tehdä manuaalisesti vaatekappaleille. Tämän takia referenssin tärkeys onkin erittäin suuri veistossa. Esimerkiksi vaatteen tilavuus saattaa aiheuttaa epämuodostumia väärin tehtynä. Veisto toimii erinomaisesti tarkempien yksityiskohtien tekemisessä, kuten rypytyjen mallinnuksessa. Rypytyjen mallinnus toimii tehokkaasti esimerkiksi siveltimien maskeja käyttäen. Maskeilla voi siirtää valmiin kuvion mallin pintaan. Tämä mahdollistaa hyvinkin tarkkojen yksityiskohtien tekemisen nopeasti, kunhan oikeanlainen maski löytyy. Kuvassa 2 on esimerkki pallosta Blender-ohjelmistossa, jonka päältä on vedetty Clay Strips -siveltimellä. [7,8,9.]



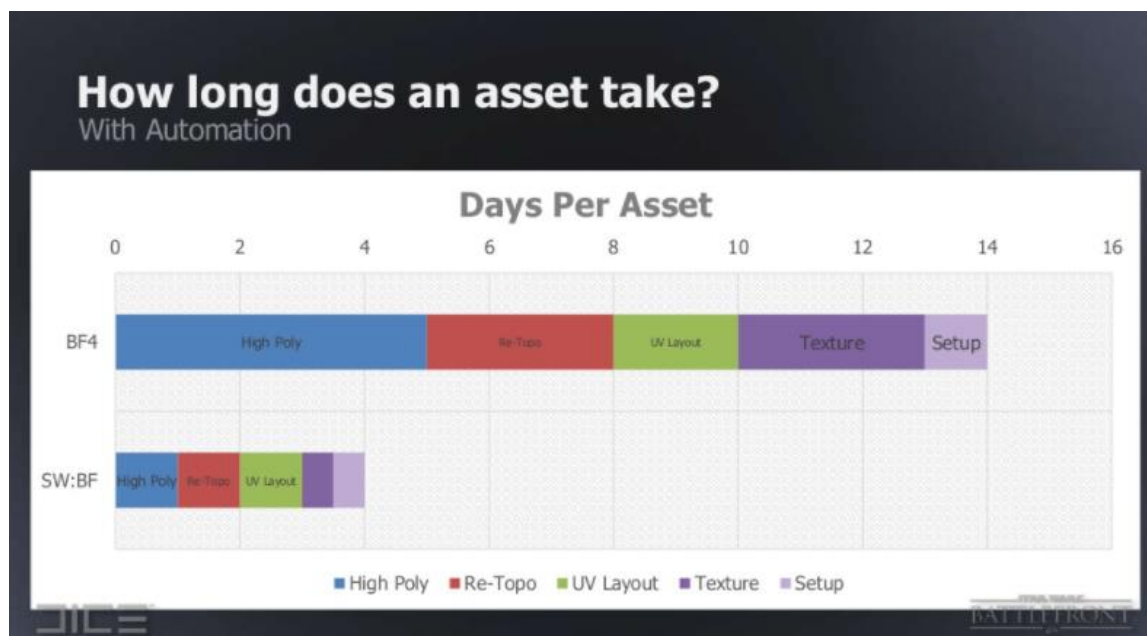
Kuva 2. Clay Strips - sivellin Blenderissä

ZBrush kuuluu niin sanottuihin digitaalisen veistämisen ohjelmistoihin, ja siitä on tullut vuosien aikana 3D-mallinnuksen standardiohjelmo digitaaliseen veistämiseen. Ohjelmisto mahdollistaa jopa kymmenien miljoonien polygonien samanaikaisen muokkauksen hyvällä suorituskyvyllä. Tämä mahdollistaa erittäin yksityiskohtaisien 3D-mallien tekemisen, kuten jopa ihon pienten huokosten tai vaateiden pienten lankojen ja laskostusten mallinnuksen. [10.]

Uutuutena sekä ZBrushissa että Blenderissä on kangasveistosiveltimet, jotka samanaikaisesti pensselinvedolla simuloivat vaatefysiikkoja malliin. Itse simulaatiovaihetta mallinnuksesta pensselit eivät varmaankaan tule korvaamaan, mutta ne voivat tehostaa simuloitujen vaatteiden jälkikäsitteilyä. Halutessaan graafikko voi lisätä laskostuksia niin että digitaalinen veistos ottaa huomioon olemassa olevan vaatteen tilavuuden.

## 4 Fotogrammetria

Fotogrammetria on 3D-datan luomista valokuvista. Mallinnettavasta objektista otetaan useita osittain päällekkäisiä kuvia, joista Fotogrammetria-ohjelmisto yhdistelee ja asettelee 3D-tilaan ja luo tarkan 3D-mallin sekä tekstuurin. Isona etuna Fotogrammetriassa on yksityiskohtien määrä. Hyvin onnistuneesta mallista saa erittäin paljon irti. Itse 3D-mallin pinnan yksityiskohdat kuin myös tekstuurin. Fotogrammetriaan voidaan yhdistää paljon automatisaatiota, joka voi nopeuttaa työskentelyä huomattavasti. Kuvassa 3 näkyy esimerkki DICE:n nopeutuneesta mallien tekemisestä, kun he ottivat Fotogrammetrian ja sen automatisoinnin käyttöön. Kuvassa 4 on esimerkki Fotogrammetrian eri vaiheista. Ensimmäisessä vaiheessa saappaasta otetaan valokuvia. Tämän jälkeen kuvat viedään Fotogrammetria-ohjelmistoon, joka käsittelee kuvat vertaamalla niitä toisiinsa ja luo niistä loppujen lopuksi 3D-mallin. Tuotoksessa saattaa olla usein virheitä tai ylimääräistä pintaa, joka on tullut mukana esimerkiksi kuvien taustalta. Seuraavana askeleena tämä ylimääräinen pinta poistetaan ja 3D-malli niin sanotusti putsataan. Viimeisenä on kuva valmiista teksturoimattomasta 3D-mallista. [11,12.]



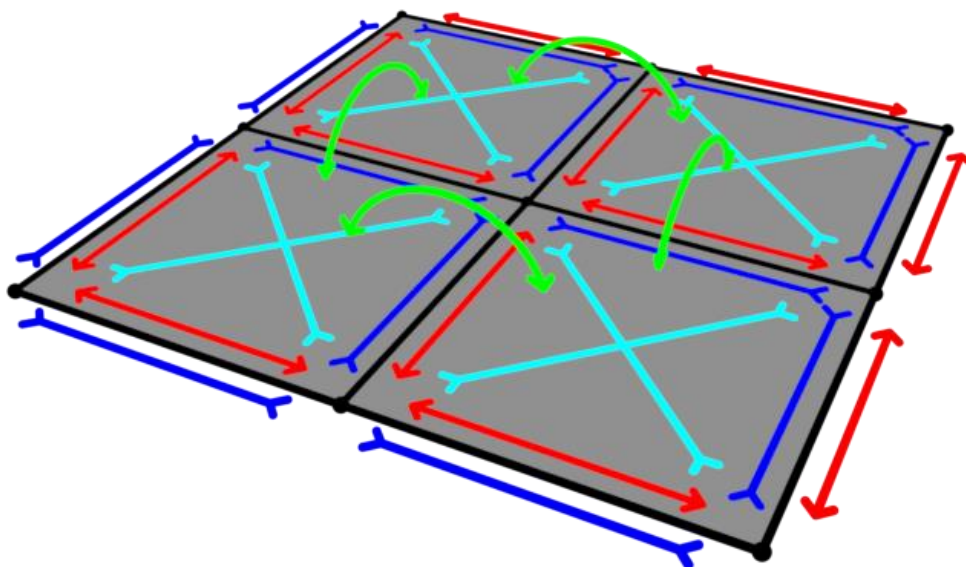
Kuva 3. Automatisoidun fotogrammetrian tuotantonopeus verrattuna entiseen tekota-  
paan. [13.]



Kuva 4. Fotogrammetrian työvaiheita. Vasemmalla ylhäällä on kuvaaminen. Oikealla ylhäällä on kuvista muodostettu 3D-malli. Vasemmalla alhaalla on Meshlab-ohjelmistolla put-sattu 3D-malli. Oikealla alhaalla on viimeistelty korkeapolygoninen malli

## 5 Vaatesimulaatio

Vaatesimulaatio on yksi vaikeimmista tietokonegrafiikan muodoista tietokoneelle laskennallisesti. Yksinkertaiselta vaikuttavaan esineeseen kuuluu monimutkaisia vuorovaikutuksia. Vaatesimulaatioissa mallinnetaan jonkinlainen 2D- tai 3D-malli, jolle lasketaan fyysisiä ominaisuuksia. Simulaatio laskee jokaiselle 3D-mallin verteksille erilaisia ja eri tyypisiä jousia (kuva 5). Manuaalisesti rypistymisen ja laskostuksen mallinnuksen sijasta tietokone laskee 3D-mallille painovoiman ja fyysiset ominaisuudet, kuten kankaan painon, venyvyyden ja jäykkyyden. Kuvassa 6 näkyy esimerkkejä erilaisista kankaista ja kuinka niiden fyysiset ominaisuudet vaikuttavat kankaan laskostukseen. Vaikka tulos on yleisesti realistinen, saattaa graafikko menettää simulaatioissa jonkin verran taiteellista vapautta. Asusteen saaminen tiettyyn asentoon tai tietyn näköistä laskostusta saattaa joutua säätämään. Lopputuloksen muokkaaminen saattaa olla hankalaa, jolloin joudutaan käyttämään muita ohjelmistoja, kuten digitaalisia veisto-ohjelmia muokkaamaan lopputulosta. Simulaatio ei ole myöskään hyvä tekemään tarkimpia yksityiskohtia kankaaseen, kuten ryppejä. [14.]



Kuva 5. Kuvitus simuloituista jousista [14.]



Kuva 6. Erityyppisiä simuloituja kankaita.

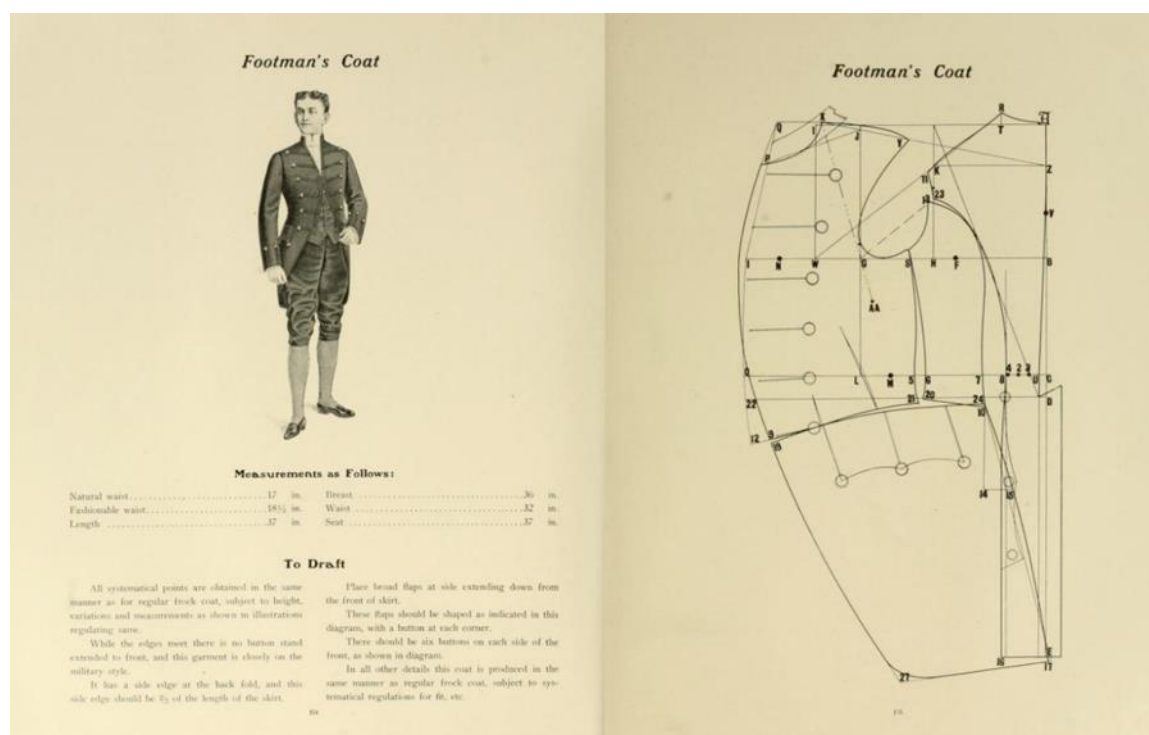
### 5.1 Vaatekaavat

Vaatekaavat toimivat ohjeena, kuinka vaatteen palat leikataan ja ommellaan yhteen. Kaavoja voi löytää eri paikoista, internetistä, lehdistä tai kaavoittamalla omia vaatteita. Kaavoja ja vaatteita etsiessä pitää ottaa huomioon tekijänoikeudet. Tekijänoikeuksien rikkomisesta ja plagioinnista saattaa tulla seuraamuksia, vaikka esimerkiksi Yhdysvalloissa itse kaavoilla ei ole tekijänoikeuksia ja Suomessakin lopullisen vaatekappaleen tekijänoikeussuojan saaminen edellyttää teoskynnyksen ylittämistä. On myöskin hyvä miettiä omaa uniikkia vaatetta tehdessä, että vaikka itse vaatetta ei voi suojata, voi esimerkiksi pelihahmo saada tekijänoikeudellisen suojan. [15,16.]

Kukaan tuskin vaatinee tekijänoikeudellista suojaa esimerkiksi tavalliselle, valkoiselle t-paidalle. Kyseessä on perustavanlaatuinen vaatekappale, jota myyvät lähes kaikki maailman muotiteollisuuden yritykset ja jonka alkuperäisestä suunnittelijasta ei kellään ole tietoa. Myös muut vaateollisuuden tuotteet, joiden muotokielen sanelee suurimmaksi osaksi tuotteen käyttötarkoitus, jäänevät tekijänoikeudellisen suojan ulkopuolelle. Siksi onkin perusteltua tehdä erottelu erilaisien muotiteollisuuden tuotteiden välille [15]. Vaatteissa pitää kumminkin ottaa huomioon tava-

ramerkit sekä kuviot. Olemassa olevien vaatteiden logot, nimi ja kuosi voivat olla suojattu tavaramerkillä, jolloin niiden käyttö on kiellettyä. Myöskin kankaiden kuviot voidaan laskea tekstiilitaitteeksi, jolloin ne ovat tekijänoikeudellisesti suojattuja. [15.]

Koska tavaramerkkilaki suojaa vain sanoja ja graafisesti esitettävissä olevia kuvioita, sen avulla ei voida suojata esimerkiksi vaatteiden leikkausta tai muotoa. Siten suunnittelijat, joiden tyylin ominaispiirteitä ovat linjakkaat, veistokselliset, yksivärisistä kankaista valmistetut vaatteet, eivät juuri hyödy tavaramerkkilaista [15].



Kuva 7. Vaatekaava ja piirustus siitä valmistuvasta takista [17].

## 5.2 Vaatesimulaatio videopeleissä

Videopeleissä vaatesimulaatio ei ole mahdollista samalla skaalalla kuin esirenderöidyissä animaatioissa suuren muisti- ja laskentateho vaatimusten takia. Simulaatio voidaan esilaskea, mutta silloin yhdenkin animaatiopätkän koko voi olla erittäin suuri. Nykyisiin käytänteisiin kuuluu tiettyjen esineiden ja osien yksinkertaistettu simulointi. Kuten kuvassa 8 esimerkkinä the Witcher 3-pelistä



pelaajan takin helmoihin asetettu simulaatio, joka pistää sen heilumaan ja mukautumaan liikkeeseen. Laatu tällä simulaatiolla on usein kumminkin alhainen. Tiedetyt ominaisuudet, kuten törmäämisen tunnistus itsensä kanssa, saatetaan ottaa pois päältä kokonaan, jolloin vaate voi mennä itsestään läpi. Dynaamisia ryppyjä tai esineen törmäystä seurataan heikosti, jos ollenkaan. Tulevaisuudessa konsolien ja koneiden tehojen kehityksen lisäksi AI-pohjaiset algoritmit voivat tuoda edistystä simulaation tarkkuuden kehittämiseen. Yksinkertaisempia rypistymisiä tai vaatteen heilumista voi saada aikaan myös pelimoottorien varjostinefekteillä. Kuvassa 9 näkyy kuvakaappaus Grand Theft Auto V -pelistä, jossa pelaajahahmon paitaan ilmestyy normaalikartta tuomaan lasuksia. Myöskin yksinkertaista kankaan liikkumista esimerkiksi tuulesta voidaan saada aikaan liikkuttamalla verteksien sijaintia varjostimen avulla. [18.]



Kuva 8. The Withcer 3: Wild Hunt kuvankaappaus.



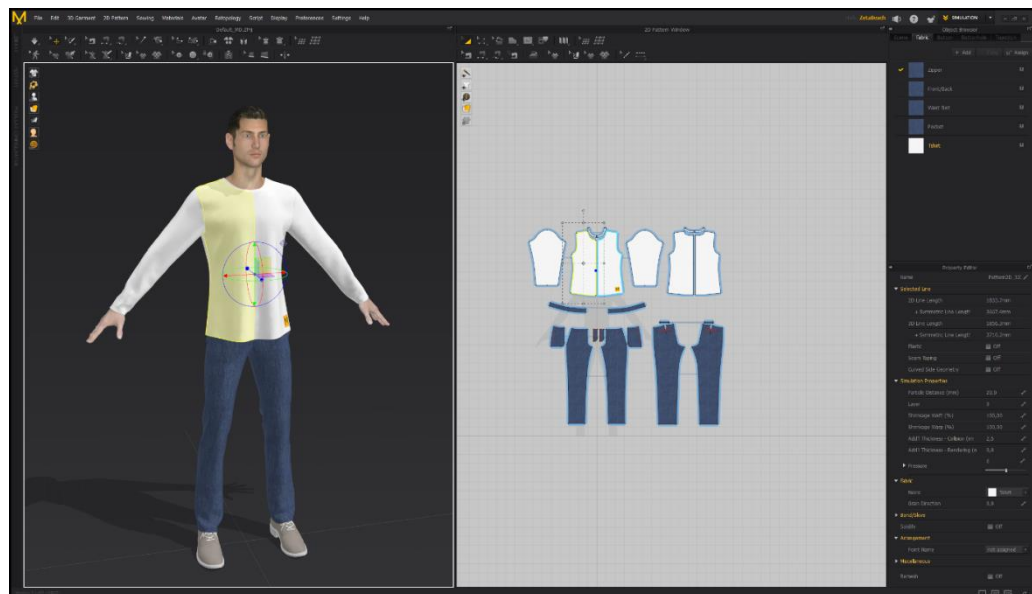
Kuva 9. Kuvankaappaus GTA V -pelistä



### 5.3 Marvelous Designer

Marvelous designer on 3D-mallinnusohjelmisto, joka erikoistuu vaatteiden tekemisen. Ohjelmistossa normaalin polygonimallinnuksen tai digitaaliseneveiston sijasta graafikko piirtää ompelukaa-  
vat, jotka ohjelmisto asettelee 3D-tilaan ja simuloidaan. Ohjelmisto käyttää hyvin paljon työka-  
luja, joita on siirretty oikeasta vaatekehityksestä digitaaliseen muotoon simulaatio-ohjelmiston  
sisälle. Ohjelmisto mahdollistaa oikeiden vaatteiden tarkan mukailun digitaaliseksi tai digitaali-  
selle hahmolle tehtyjen vaatteiden tekemisen oikeassa maailmassa. Ohjelmistoa ja erityisesti sen  
kehittäjän CLO Virtual Fashion Inc:in toista CLO3D-ohjelmistoa onkin käytetty paljon muotialalla  
vaatteiden visualisointiin. Marvelous designer on kuitenkin enemmän tarkoitettu 3D-graafikoille,  
jotka työskentelevät esimerkiksi pelialla tai elokuvien erikoistehosteiden ja grafiikan parissa.

Marvelous Designerissa on 3D- sekä 2D-näkymä (kuva 10). Näitä näkymiä käyttäen graafikko luo  
vaatekappaleet hahmolle. Normaalin 3D-mallinnusohjelman sijaan 3D-malleja ei suoraan tehdä  
3D-tilaan mallintamalla, vaan ensin tehdään 2D-kaava jokaisesta palasesta, josta vaatekappale  
koostuu. Tämä tekotapa, kuten muutkin työkalut ohjelmistossa, toimivat kuten oikeassa elämässä  
vaatteiden tekemisessä. Kaavat, jotka ohjelmistossa tehdään, pystytäänkin tuomaan ohjelmasta  
ulos ja niiden avulla valmistaan vaatekappale. Tämä ajatus toimii myös toisinpäin. Valmiina olevia  
kaavoja voidaan viedä ohjelmistoon ja luoda niistä digitaaliset versiot.



Kuva 10. Marvelous designerin käyttöliittymä

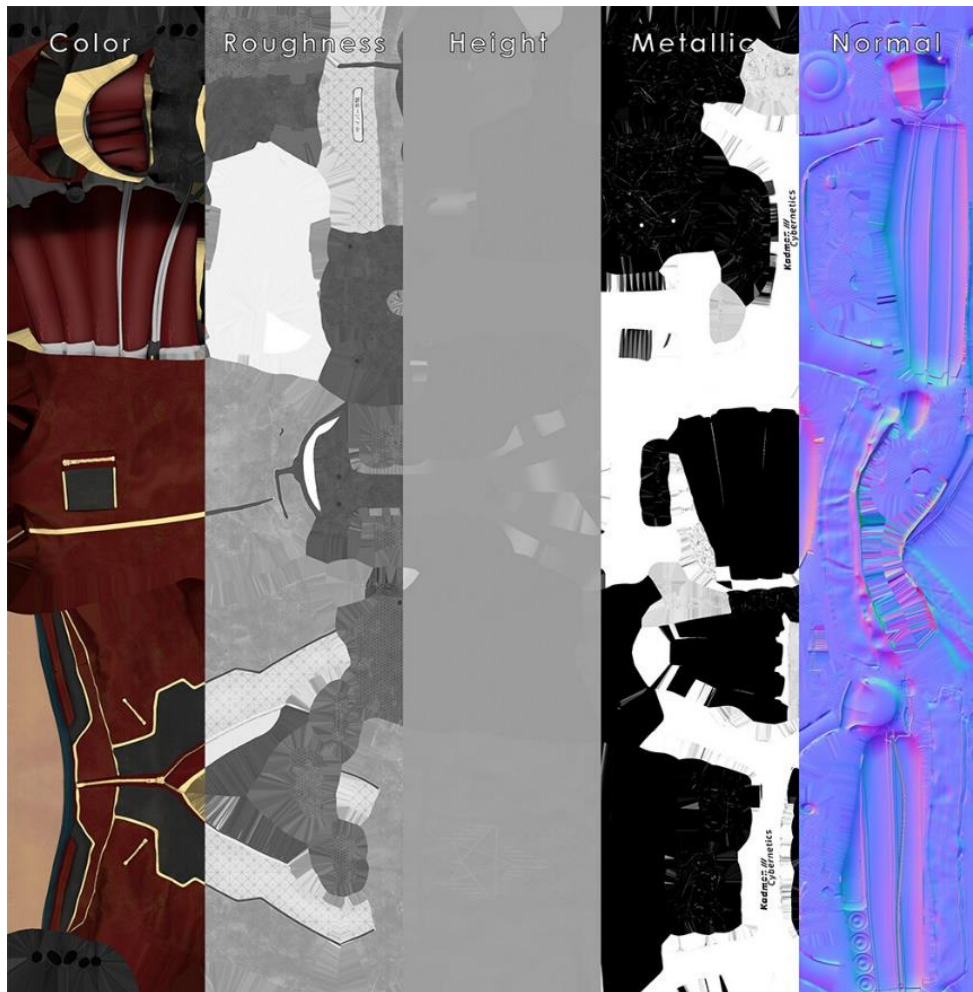
## 6 Teksturointi

Teksturointi on 2D-kuvan luomista, jota käytetään 3D-malleissa. Tekstuuriin 3D-malli tarvitsee tekstuurikoordinaatit, jotta malli osaa projisoida kaksiulotteisen kuvan kolmiulotteiseen esineeseen. Tekstuureja käytetään yhdessä varjostimien ja materiaalien kanssa, joilla pystytään edistämään ja muokkaamaan esineen ulkonäköä. Materiaaleissa ja varjostimissa voi olla useita 2D-tekstuurikarttoja, jotka antavat erilaista dataa materiaalille. Näitä pystytään kehittämään itse tai käyttämään valmiina, vaikka pelimoottorissa olevia. Kuvassa 11 on kaksi varjostinta Cell-varjostin vasemmalla sekä PBR-varjostin oikealla. PBR varjostin perustuu valon käyttäytymiseen oikeassa maailmassa, kun Cell-varjostin on tyyliltään sarjakuvamainen. [19,20.]



Kuva 11. Cell shading- ja PBR-materiaali Blenderissä.

Kuvassa 12 on esimerkkejä eri PBR materiaaleissa olevia tekstuurikarttoja. Color kertoo, minkä värinen esine on. Roughness kertoo pinnan karheudesta ja kiillostaa. Metallic eli metallisuus kertoo, onko esine metallia vai ei. Normal-kartan avulla voi mallin pintaan lisätä yksityiskohtia ja pinnan muotoa, joita ei pysty saamaan tai ei olisi järkevää laittaa näkymään polygoneilla. Vakiokarttojen lisäksi PBR, materiaalissa voi käyttää erilaisia lisäkartoja, jotka voivat vahvistaa materiaalin näköä. Näihin kuuluvat mm. Ambient Occlusion -kartta, joka sisältää tietoa materiaalin tai objektin pinnan valoisuudesta sekä Subsurface Scattering eli valon läpäisevyydestä pinnan läpi. Ihmisen iho sekä monet muutkin esineet ovat osittain läpinäkyvää ja esimerkiksi taskulampun valaistessa kämmeneen voi toisella puolella huomata punaisen läpäisevän valon. [21,22.]



Kuva 12. PBR-tekstuurikarttoja.

Itse teksturoinnissa voidaan hyödyntää useita eri karttoja, joita saadaan leipomalla dataa 3D-mallista toiseen. Muita leivottavia karttoja on esimerkiksi World Space Normal, ID, Curvature, Position ja Thickness. Karttoilla on erilaisia käyttötarkoituksia. ID-kartalla saa peitettyä materiaaleja eri kohtiin mallia. Kuvassa 13 ylärivissä keskimmäisenä näkyvä ID-kartta saa värit tarkasta mallista, jossa jokainen osa, jonka voisi haluta olevan tiettyä materiaalia on väritetty omalla värillään. Muut kartat ovat suurimaksi osaksi tarkoitettu erilaisten generaattoreiden sekä Smart Maskien käyttöön. Näillä työkaluilla graafikko voi käyttää proseduraalisia peitteitä materiaaleille. Nämä peitteet mahdollistavat monen erilaisen kohdistetun kulumisen ja lian lisäämisen malliin. Leipomisessa pelivalmiista mallista lautoaan säteitä normaalin suuntaan ja sillä tarkistetaan, miltä korkeapolygoninen malli näyttää sen kohdalla. Tämän säteen kulkumatka ei ole loputon, vaan sille täytyy asettaa tietty matka, jonka se liikkuu.



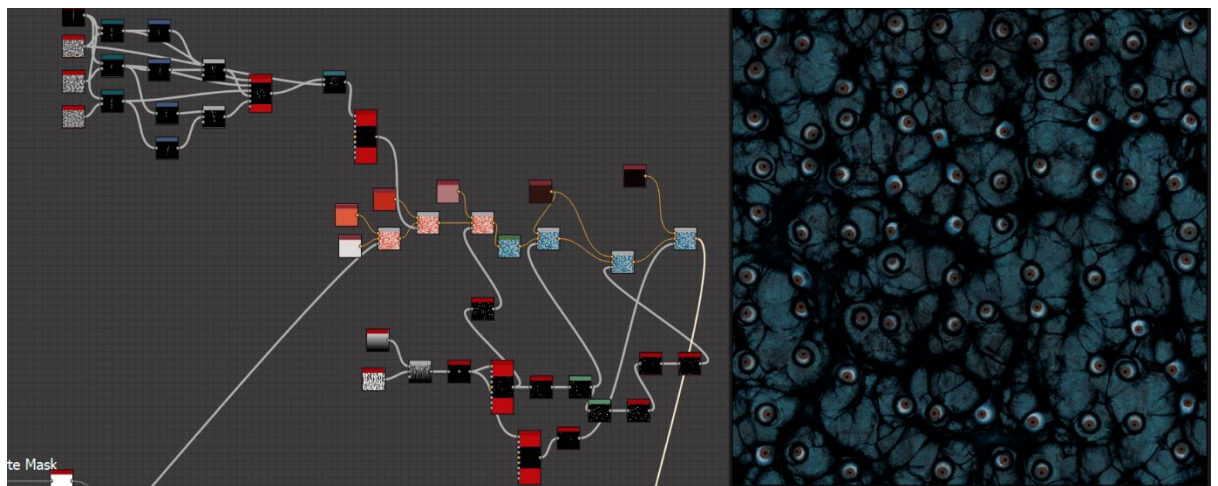
Kuva 13. Eri leivottavia tekstuuri kartoja Substance Painterissa

## 6.1 Substance Painter

Substance painter on 3D-teksturointiohjelmisto, josta on tullut vakio-ohjelmisto teksturointiin peli-, animaatio- ja tietokonegrafiikan alalla. Ohjelmisto mahdollistaa osittain tai täysin proseduraalisen teksturoinnin suoraan 3D-objektiin. Substance Painter -ohjelmisto mahdollistaa teksturoimisen suoraan 3D-objektiin tehostaen teksturointia. Vakiona Substance Painter toimii PBR-materiaalien kanssa.

## 6.2 Substance Designer

Substance designer on proseduraalisen materiaalien tekemistä varten oleva ohjelmisto. Siinä missä Substance Painterin päätarkoitus on materiaalien asettelu 3D-malleihin. Designerissa tehdään enemmänkin ns. Toistuvia-tekstuureja eli tekstuureja, jotka vierekkäin aseteltuna näyttävät saumattomilta. Proseduraalisena ohjelmistona Substance designer ei tarvitse minkäänlaista ulkopuolista dataa, kuten esimerkiksi valokuvaa pinnasta, josta materiaali halutaan tehdä. Tämä mahdollistaa yksityiskohtaisten ja erittäin muokattavien materiaalien tekemisen. Tekstuurit luodaan graafeihin, kuten kuvassa 14, joissa erilaiset noodit muokkaavat ja kehittävät kuvaa. Materiaaleille pystyy myös asettamaan asetuksia, joita pystytään muokkaamaan sitä tukevilla ohjelmissa. Esimerkiksi suoraan pelimoottorissa pystytään määräämään, vaikka seinän maalin väriä sekä sen kuntoa lisäämällä tai vähentämällä naarmuja ym.



Kuva 14. Osa Substance designerin tekstuurin graafista ja sen luomasta tekstuurista

## 7 Vaatekappaleen valmistus pelihahmolle

Käytännön osuudessa suoritettiin projekti, jossa kuvitteellisen pelin pelaajahahmolle toteutettiin vaatekappale. Tarkoituksena oli käyttää vaatesimulaatiota tukemassa mallinnusosuutta. Työssä ensin valmistettiin vaatteet simulaatiota hyödyntäen, minkä jälkeen siitä tehtiin lopullinen korkeapolygoninen malli. Korkeapolygonista mallia hyödyntäen valmistettiin myös pelivalmismalli sekä tekstuurit.

### 7.1 Suunnittelu

Työssä mallinnettiin vaatekappale kuvitteelliseen peliin. Pelin teemaksi valittiin steampunk ja pelaaja pystyisi pelissä vaihtamaan vaatteita. Vaatteet on jaoteltu eri lokeroihin, yksittäisiä vaatekappaleita ei voi vaihtaa vaan sen sijaan pelaaja pystyy vaihtamaan kolmen eri lokeron vaatteita. Lokerot ovat ylävartalo, alavartalo ja pää. Ylävartaloon kuuluu keho noin vyötärön alueelta kaulan alueelle mukaan lukien kädet. Alavartalo on vyötäröstä alaspäin. Päälokeroon kuuluvat kaula ja pää. Työssä päädyttiin tekemään ylävartalolokeroon tuleva vaatekappale. Vaatteiden ollessa lokeroissa ne eivät ole vain yksittäisiä vaatteita vaan kokoelma vaatteita. Ylävartalolokerossa voi siis esimerkiksi olla useampia vaatekerroksia, myöskin käsien kuullessa ylävartaloon voi vaatteeseen kuulua esimerkiksi hansikkaat.

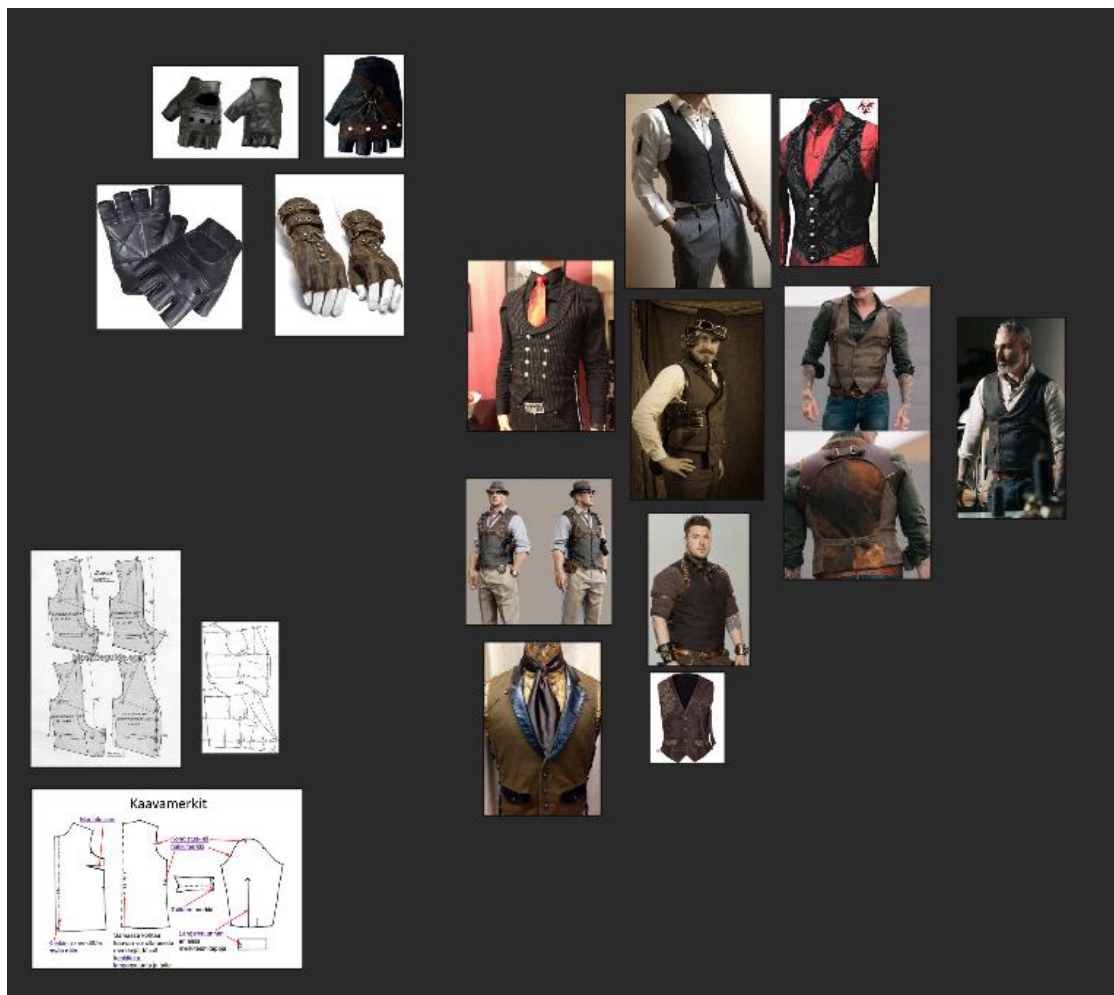
Kun teema oli valittu, etsittiin inspiraatiota ja referenssejä asusteelle Pinterestistä. Erilaisia referenssi- ja inspiraatiokuvista tehtiin kokoelma. Kuvassa 15 näkyy kuvia, joita kerättiin Pinterest-tauluun. Vielä ei ollut tiedossa, millaisesta hahmosta olisi kyse, joten tauluun kerättiin mahdollisimman monipuolisesti inspiraatiota. Myös teemallisesti asusteita etsittiin suoran stereotyyppisen steampunkin ulkopuolelta.





Kuva 15. Kuvankaappaus Pinterest-taulusta ideoinnille työtä varten

Työssä päädyttiin tekemään mieshahmo, jolle tuli ylävartalolokeroon asuste. Tarkemmat yksityiskohdat olivat kauluspaita, liivi ja hansikkaat. Kuvassa 16 näkyy PureRef-ohjelmiston taulu lopullisista referenssikuvista.



Kuva 16. Kuvankaappaus PureRef-ohjelmaan kerätyistä referenssikuvista

Työssä käytettiin hyödyksi vaatesimulaatiota. Simulaation käyttäminen muokkasi työprosessia jonkin verran. Mallinnuksen aloituksessa piti ottaa huomioon tarve perusmallille. Tällä tarkoitetaan alastonta tai melkein alastonta mallia, jolla on ainakin oikea kehonrakenne lopulliseen hahmoon verrattuna. Kuvassa 17 näkyvät esimerkit perusmalleista. Miesmalli on aseteltu A-asentoon, jossa kädet osoittavat hieman alaspäin ns. A-muodossa. Naishahmo on T-asennossa, jossa kädet osoittavat suoraan sivuille. Asennon valinnassa piti ottaa huomioon mallintaessa tulevia huomioita. Simulaatiolla tehtäessä vaatteet istuvat hahmolle siihen asentoon, missä ne ovat. Varsinkin T-asennossa tulee ongelmaksi hihat, jotka eivät saa painovoimasta apua laskeutuakseen oikein käsivarrelle. Myöskin T-asennossa pitää ottaa olkapäät huomioon, erityisesti pelivalmistamallia tehtäessä. Lopulta kun hahmoa animoidaan, hahmon kädet tulevat luultavimmin olemaan alhaalla, jolloin T-asennossa olleen hahmon olkapäät voivat venyä paljon ja aiheuttaa venymistä tekstuurissa ja topologiassa.



Kuva 17. Esimerkit miehen [23] ja naisen [24] perusmallista

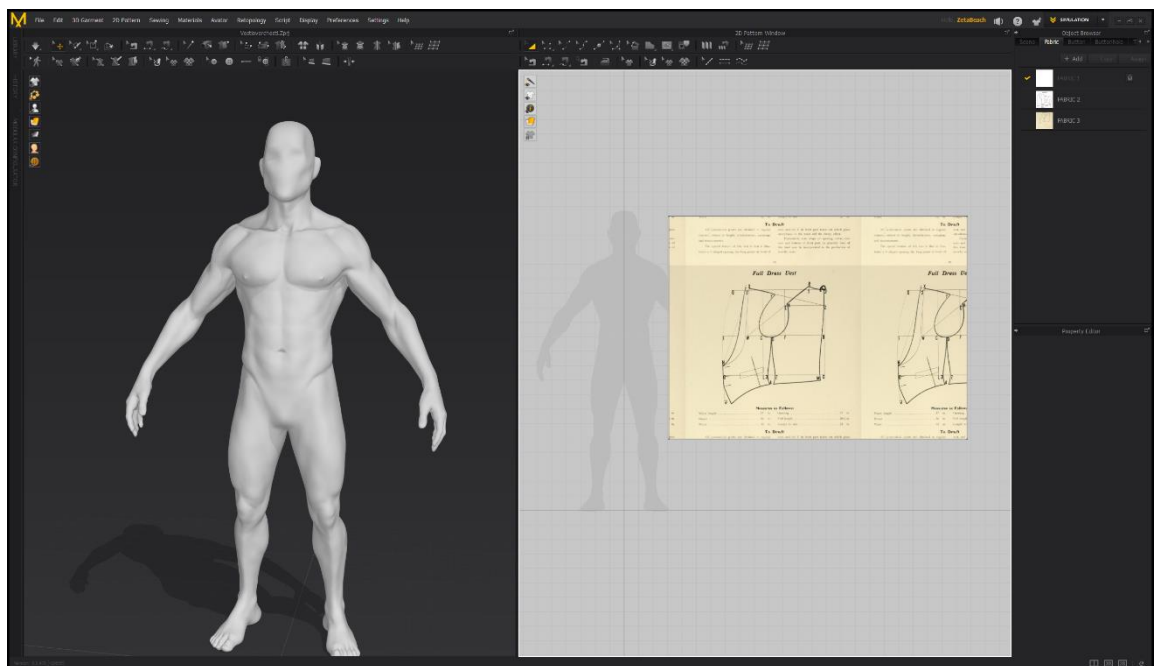
Ennen mallintamisen aloittamista oli myös tärkeää etsiä referenssiä hahmon vaatetukselle. Olemassa olevalla konseptitaiteella, pystyttäisiin katsomaan hahmon vaatetusta ja etsimään referenssikuvia vastaavista vaatteista. Referenssin ohella etsittiin muuta tietoa vaatekappaleesta.



Vaatteen kangastyypillä ja sen paksuudella on merkitystä simulaatioon. Pienikin tieto vaate-suunnittelusta ja vaatekaavoista auttaa paljon lukemaan ja muokkaamaan kaavoja. [8.]

## 7.2 Simulaatio Marvelous Designerilla

Ensiksi mietitään järjestys vaatteiden luonnille. Alempana olevat vaatteet esimerkiksi t-paidat on parasta koota ensiksi ja asetella paikoilleen. Jälkikäteen niiden lisääminen saattaisi olla hankalaa.

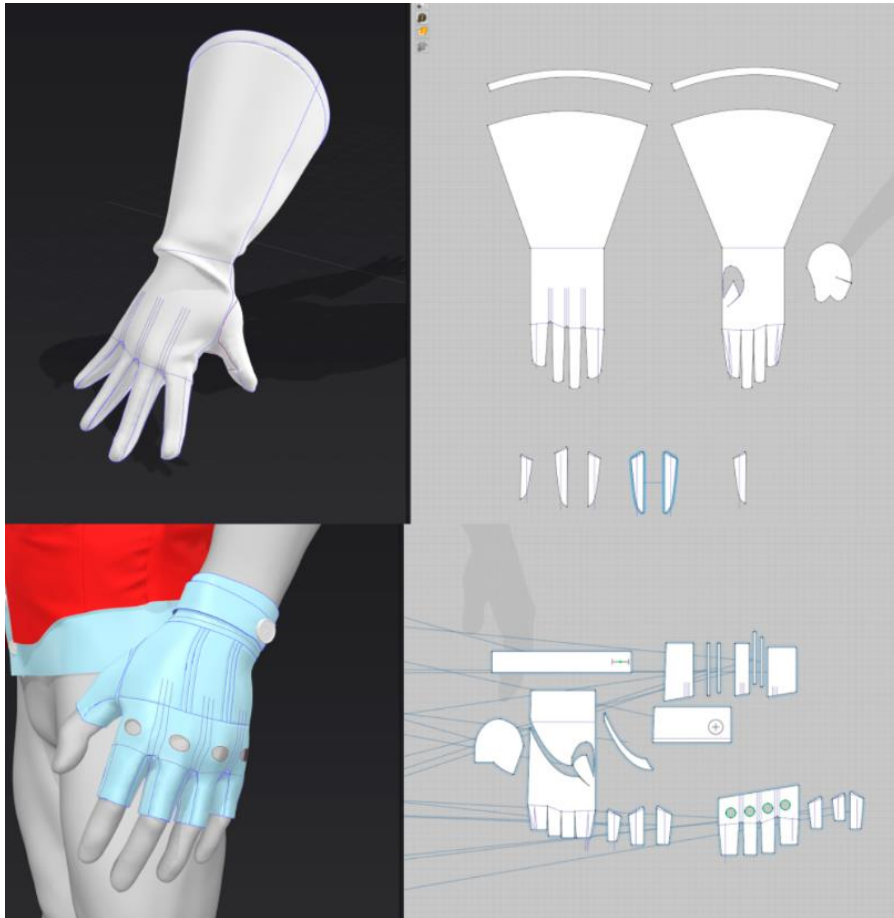


Kuva 18. Kuvakaappaus Marvelous designer-ohjelmasta perusmallin ja kaavareferenssin kanssa.

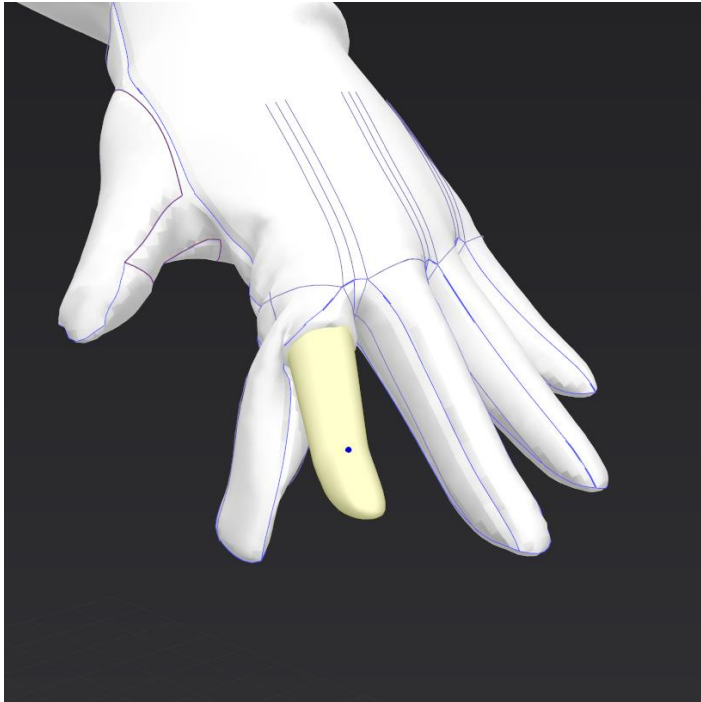
Perusmallina oli Mandragorasproutin tekemä ilmaisessa jakelussa oleva malli. Myöskin ompelukaavana käytettiin Public domainissa olevasta vuoden 1907 kirjasta löytyvää ompelukaavaa pohjana vaatteille. Ensiksi luotiin kauluspaita, jonka jälkeen siirryttiin liiviin. Asusteet olivat aluksi erittäin huonosti istuvia. Peruskaavalla tehtynä vaatteet eivät aina istu hyvin kaikkiin kehon tyypeihin, jolloin ne täytyy muokata sopiviksi. Käytössä oleva perusmalli oli erittäin lihaksikas, mikä vaikuttaa paljon vaatteiden istuvuuteen. Kaavat skaalattiin siten, että istuvuus hartioiden kohdalla oli suurin piirtein sopiva, minkä jälkeen vatsa-alue kuositeltiin. [17,25.]

Hansikkaissa hyödynnettiin aikaisemmin tehtyä kaavaa. Kuva 19 näyttää ylempänä alkuperäisen hansikkaan. Marvelous Designerin tehokas kaavojen muokkaus mahdollisti aikaisemmin tehdyn

kaavan käyttämisen ja muokkaamisen työn tarpeisiin. Myöskin täysin tyhjästä lähteminen ja vapaasti ilman peruskaavoja tekeminen olisi voinut antaa paljon mielenkiintoisia tuloksia. Haasteena vanhan kaavan käytössä tuli sen asettelu paikoilleen. Vaatteisiin pystyy tarttumaan vain hiirellä ja niiden liikutus toimii vain kahteen suuntaan kerrallaan. Tämä saattaa tietyissä kohdissa tuottaa hankaluuksia. Kuvassa 19 voi huomata hansikkan 3D-mallin ollessa eriasennossa vanhalla mallilla kuin uudella. Kuvassa 20 sormi on lävistänyt hansikkan kankaan ja ei ole asettunut oikein paikalleen. Uudelleen asettelu saattaa olla pitkäväteinen työ.



Kuva 19. Alkuperäinen hansikas ja siitä muokattu sormeton hansikas



Kuva 20. Sormi on lävistänyt hansikkaan

Simulaatioon piti myös asetella kankaat ja mistä ne on valmistettu. Kankaan simulaatioasetuksissa oli useita erilaisia ennakkoon tehtyjä asetuksia, joista voi valita haluamansa kangastyypin, jota ohjelma simuloi. Vaihtoehtona myöskin oli päättää asetukset itse tai muokata valmiina olevia. Useilla eri vaihtoehdoilla voi kankaan käyttäytymisestä saada juuri sellaisen kuin haluaa. Asetuksilla on jopa tehty ritarin haarniskan verrattavaa kangasta.

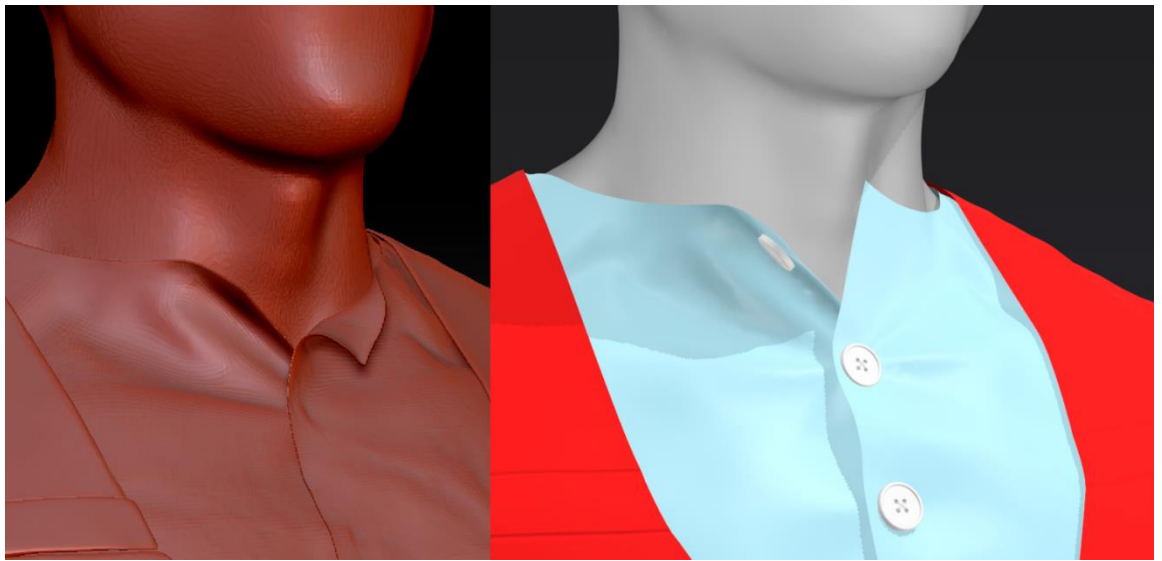


Kuva 21. Vaatteiden simulointi valmiina

Itse Marvelous Designerissa vaatteille ei saa aivan kaikkea yksityiskohtia, vaan simulaation lopputuloksessa näkyvät hyvin isot ja keskikokoiset yksityiskohdat. Erityisesti laskostuksesta jäi pienimmät yksityiskohdat puuttumaan. Simuloinnin jälkeen vaate vietiin ZBrush:n, jossa lisättiin puuttuvia yksityiskohtia. Vaatesimulaatio itsessään oli välillä hankala aputyöväline. Tietyt kohdat vaateuksesta, kuten lähekkäin olevat kankaat esimerkiksi sormien välissä, aiheuttivat ongelmia simulaatiossa. Myöskin vaateen saaminen graafikon haluamaan asentoon voi olla hankalaa. Vaatteiden muokkaaminen ja muovaaminen on kumminkin vielä hyvin mahdollista simulaatiovaiheen jälkeen.

### 7.3 Digitaalinen veisto

Vaatesimulaatio vakiona toimii kolmioidun topologian kanssa. Tämä toimii hyvin simulaation kanssa, mutta se ei ole kauhean hyvä digitaaliseen veistoon. Tarvetta manuaaliselle topologian virtaavuudelle ei ollut vielä tässä vaiheessa, joten neliöittäminen tehtiin automaattisesti ZBrush:n ZRemesherillä. Tämän jälkeen ZBrushilla lisättiin ja muokattiin yksityiskohtia vaatetuksessa. Vaatteille myöskin annettiin paksuutta.



Kuva 22. ZBrushissa muokattu kaulus ja alkuperäinen kaulus.

Tässä vaiheessa mietittiin jo myös tulevaa teksturointia. Tiedyt yksityiskohdat, kuten pieni pintamateriaalin tekstuuri tai vaatteiden ompeleet, voidaan tehdä joko ZBrushissa tai myöhemmin teksturoinnissa. Myöskin päätettiin, miltä itse materiaali tulee näyttämään. Vaatetuksessa haluttiin itse paita ja liivi pitää hyväkuntoisena, mutta ryppyisenä. Hansikkaat taas tehtiin kuluneiksi ja käytetyiksi.



Kuva 23. Veistettyä yksityiskohtaa hansikkaassa

Hansikkaaseen veistettiin rypistymiä sekä nahan taipumisesta tullutta kulumista. Nahan ompelaita ei kumminkaan ole tehty vaan ne laitetaan vasta teksturoinnissa. Myöskin tässä vaiheessa olisi voinut lisätä esimerkiksi nahalle tunnusomaista rakeisuutta. Hahmon naamaan korkeapolygonista mallia tehtäessä saattaisi olla hyvä idea jo siihen pistää kaikki rypyt ja ihon huokokset, mutta esimerkiksi nahkahansikkaan kannattaa miettiä asiaa. Jos nahan urat laitettaisiin jo mallinnuksessa, niiden muokkaaminen tai vaihtaminen myöhemmin voi olla ongelmallista tai hankalampaa kuin niiden tekeminen vasta teksturoinnissa.



Kuva 24. ZBrushissa veistetty vaatetus vietynä takaisin Blenderiin

#### 7.4 Topologian uudelleenluominen pelivalmiiksi malliksi

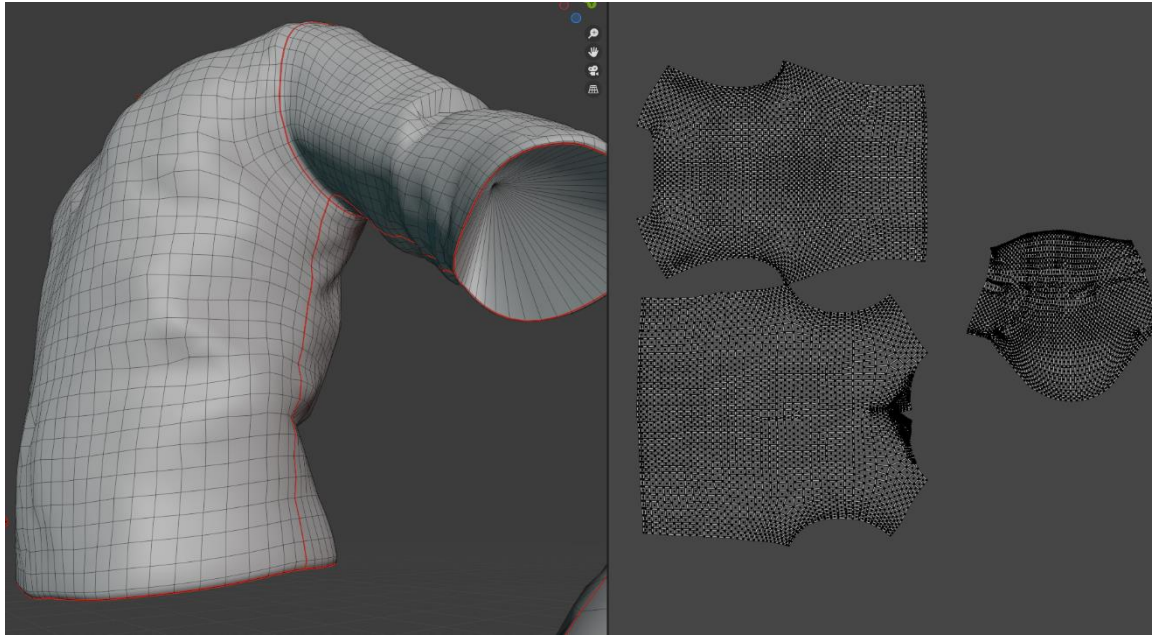
Kaikkien tarkkojen 3D-mallien ollessa valmiita niistä tehtiin pelimoottorille valmiita versioita. Tässä voidaan hyödyntää samaa automaattista topologian uudelleenluomiskeinoa kuin aikaisemmin. Nyt kumminkin haluttiin manuaalisesti ohjata topologian kulkua esimerkiksi hahmon animointia varten. Kuvitteelliselle pelihahmolle päätettiin yhteiseksi polygonibudjetiksi 60 000 polygonia. Tämä jaettiin kolmeen eri vaatelokeroon, sekä perusmalliin, jolloin vaatetuksen polygonibudjetiksi tuli noin 15 000 polygonia. Tämä myös tarkoitti sitä, että itse vaatteeseen ei kuulunut hahmon kädet vaan ne kuulsivat vaatetuksen alla olevaan perusmalliin.



Kuva 25. Pelivalmis malli valmiina.

Topologian uudelleenluomisessa käytettiin Blenderiä. Tärkeimmät työkalut topologian uudelleenluomisessa olivat Face snap- ja Shrink wrap-työkalut. Näiden avulla pelivalmiin mallin saa tehokkaasti kiedottua tarkan mallin ympärille. Lopulta mallilla oli noin 15 100 polygonia ja seuraava askel oli UV-purkaminen. Purkamisessa kolmiulotteinen malli muunnetaan kaksiulotteiseksi kuvaksi. Samaan tapaan kuin itse vaateusta tehdessä muunnetaan kaksiulotteiset kaavat kolmiulotteiseksi malliksi, UV- purkamisessa tehdään sama, mutta toisinpäin. 3D-malliin aseteltiin saumat, joista malli leikattiin, kun se asetetaan takaisin kaksiulotteiseksi.





Kuva 26. Malliin punaisella merkityt saumat sekä mallista syntyvät UV-saaret kaksiulotteisena

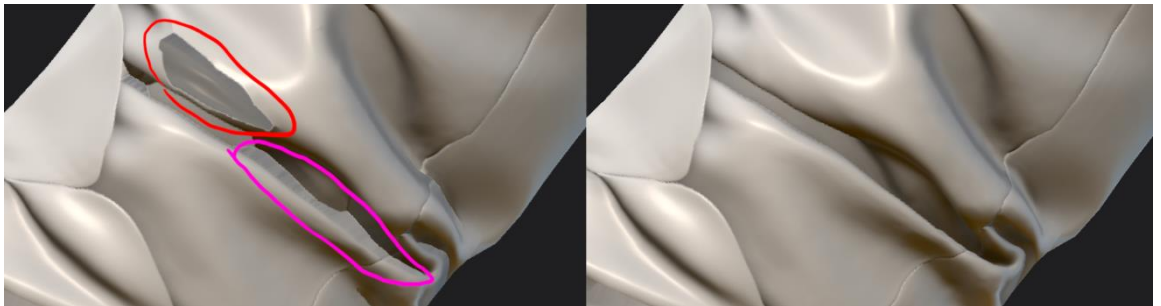
Saumojen sijainnit otettiin huomioon niitä laittaessa. Sijainnissa piti ottaa huomioon niiden näkyvyys. Saumakohtiin on tapana tulla vääristymää teksturoinnissa, jolloin terävä viiva saumakohdissa voi olla helposti huomattavissa. Tätä estettiin laittamalla saumat hahmon kylkeen ja kädessä käden sisäpuolelle, jolloin ne olivat paremmin piilossa.

## 7.5 Teksturointi

Teksturointi alkoi ensiksi leipomalla tietoa tarkasta mallista pelivalmiiseen malliin. Leipomiseen kuului normaalien sekä muiden teksturoinnissa tai varjostimessa tarvittavien tekstuurikarttojen luonti. Kuvassa 27 näkyy vasemmalla aiemmin tehty pelivalmismalli ja oikealla sama malli, jolle on leivottu normaali teksturi tarkasta mallista. Pelivalmistamallia jouduttiin vielä muokkaamaan erilaisten leipomisesta tulleiden virheiden takia. Kuvassa 28 vasemmalle näkyvät esimerkit punaisella ja pinkillä merkattuna leipomisvirheet, jossa leipomisen ampuman säteen matka on ollut liian lyhyt ja säde ei ole osunut mihinkään. Virheiden korjaamiseen säteen kantamaa suurennettiin ja pelivalmistamallia muokattiin niin, että polygonit olivat lähempänä kohtia, joihin säde ei osu.



Kuva 27. Vasemmalla pelivalmis malli ja oikealla sama malli, jolle on leivottu normaalien tiedot tarkasta mallista



Kuva 28. Tekstuurikartan leipomisessa tulleita virheitä ja haluttu lopputulos

Itse teksturointiin siirryessä ensiksi malliin laitettiin perusmateriaalit paikoilleen. Materiaalit näyttävät pääasiassa, minkä värinen ja mistä materiaalista kukin osa on tehty. Veistovaiheessa päätettiin jo suurin piirtein, millaista materiaalia mikäkin osa tulisi olemaan. Kuvassa 29 on mallin pohjamateriaalit aseteltu paikoilleen. Hansikkaat olivat hieman kuluneempaa nahkaa, paita oli puuvillaa ja liivissä oli kahta materiaalia, nahkaa ja tweedkangasta.



Kuva 29. Pohjamateriaalit aseteltuna malliin

Pohjamateriaalien ollessa paikoillaan oli vuorossa tarkemman yksityiskohtan lisääminen niihin. Työn mallin kohdalla tämä tarkoittaa lian ja kulumisen lisäämistä. Yleisesti ottaen kuvassa 29 olevan mallin materiaalit näyttävät erittäin litteältä. Erilaisilla kohina- ja likatekstuurimaskeilla saatiin luotua materiaaleille yleispätevää variaatiota. Esimerkiksi nahkaan tuli paljon tummia ja vaaleita läiskiä ja kulumista. Kuvassa 30 näkyy liivin nahan pohjamateriaali sekä variaatiolla viimeistelty lopputulos. Lopputulos syntyi ottamalla pohjamateriaalin ja muokkaamalla sitä tummemmaksi sekä toista versiota vaaleammaksi sekä muokkaamalla materiaalin karheutta. Nämä useat hieman muokatut materiaalit pinottiin päällekkäin ja niille pistettiin erilaisia likatekstuurimaskeja.



Kuva 30. Pohjamateriaali ja viimeistelty materiaali

Seuraavaksi oli yksityiskohtien lisääminen. Veistovaiheessa oli päätetty, että ompeleet tulevat vasta teksturointivaiheessa. Referenssi toimii ompeleissa apuna. Kohdat, joissa ompeleet näkyvät, voi löytää helpoiten katselemalla referenssikuvista vastaavia vaatteita. Myöskin ompeleiden lisääminen kohtiin, joissa niitä ei vastaavissa vaateissa ole voi myös olla hyvä valinta, jos se graafikon mielestä sopii. Kuvassa 31 näkyy työhön tehtyjä erityyppisiä ja kokoisia ompeleita. Myöskin lisättiin yksityiskohtia, jotka hieman toivat esille asusteen historiaa. Hansikkaan kämmenpuolelle lisättiin erittäin kuluneen näköistä pintaa, jotta hansikkaat saatiin näyttämään kuin ne olisivat olleet kovassa käytössä. Kuvassa 32 näkyy vertailu hansikkaasta, jossa on tumma hankauksesta tullut läiskä. Kohdat, joissa läiskä näkyy, on maalattu käsin, mutta siinä on myös mukana jonkin verran likamaskia tekemään siitä luonnollisemman näköistä.



Kuva 31. Ompeleita vaatetuksissa



Kuva 32. Kämmentä oleva hansikkaan käytöstä tuleva tahra (oik.) ja ilman (vas.)

Teksturoinnin jälkeen tekstuurit vietiin ulos Substance Painterista ja tuotiin Blenderiin. Blenderissä 3D-mallit aseteltiin paikoilleen ja valotettiin renderöintiä varten. Kuvassa 33 näkyy lopullinen vaatekappale renderöinnin ja jälkikäsittelyn jälkeen.





Kuva 33. Lopullinen jälkikäsitelty renderöinti

## 8 Pohdinta

Käytännön osuudessa oli tavoitteena valmistaa pelivalmis vaatekappale kuvitteelliseen steampunk-teemaiseen peliin. Tarkoitus oli tutkia työnkulkua, jossa käytettiin vaatesimulaatiota työvälineenä. Ennestään vaatesimulaation käyttö mallinnuksessa oli jo tuttu.

Mielestäni työssä sekä koko opinnäytetyössä tuli hyvin esille esimerkki työnkulusta sekä hyötyjä ja vaikeuksia tällaisesta työnkulusta. Itselleni aihe oli todella kiinnostava ja alkuperäinen idea olikin tehdä jonkinlainen vaatekappale käyttämällä useampaa eri tekniikkaa. Ideana olikin alun perin käytännön osuudessa mallintaa hahmo, jolla jokainen yksittäinen vaatekappale olisi ollut eri tekniikalla tehty. Paita simulaatiota käyttäen, housut pelkällä digitaalisella veistolla ja kengät fotogrammetrialla esimerkiksi. Lopuksi päädyttiin tekemään yhteen vaatekokonaisuuteen, joka tehtiin vaatesimulaatiota hyödyntäen.

Muutoksia, joita tekisin valmistuneeseen malliin, on kaksi. Ensiksi käsittelisin tietyt kohdat mallista, kuten liivin rajat ja kauluspaidan hihansuiden näennäisen littanaisuuden. Peli valmiissa mallissa ei ole syvyyttä antavaa geometriaa, joka saa kohdat näyttämään erittäin litteältä. Toisena on kauluspaidan puuttuva kaulus. Aikataulutussyistä kaulus piti leikata kokonaisuudesta pois. Muuten yleisenä ongelmana koko opinnäytetyössä oli aika.

Työssä kumminkin onnistuin omasta mielestäni suhteellisen hyvin. Aiheesta ei ole paljon kirjoitettu, varsinkin vaatesimulaation ollessa melko pienessä käytössä. Myöskin opiskelijana pääsy käyttämään ja harjoittelemaan ohjelmistoa on erittäin pieni.

Vaatemallinnus on monimutkaista, mutta työtapa on monia. Mallintaessa onkin tärkeää ottaa kaikki irti käytettävissä olevista työkaluista. Aivan kuten muussakin 3D-mallinnuksessa yhtä oikeaa tapaa tehdä ei ole, mutta jokaisella työtavalla on vahvuutensa ja heikkoutensa. Tulevaisuudessa simulaatiossa varmasti nähdään kehitystä. Pienemmän ja tarkemman rypistymisen simulaation tullessa mahdolliseksi työskentely ja realismi tehostuvat. Blenderin ja ZBrushin vaatesimulaation pohjautuvien pensseleiden kehitys tuo myös hieman erilaisempaa työtapaa. Vaatemallinnuksessa on myös nähty peliyritysten palkkaavan vaatesuunnittelijoita tekemään fyysisiä vaatteita, jotka voidaan viedä digitaaliseksi pelihahmoille. Tämän kaltainen erikoistuminen saattaa kasvaa tulevaisuudessa. Itse peleissä tullaan näkemään parempilaatuisempaa vaatesimulaatiota konsolien ja tietokoneiden tehojen kasvaessa sekä simulaatioalgoritmien tehostuessa.

## 9 Yhteenveto

Opinnäytetyössä perehdyttiin erilaisiin keinoihin tuottaa realistinen lopputulos vaatteidenmallinnuksessa. Työssä tuotiin esille useita eri tapoja ja ohjelmistoja vaatemallinnukseen. Työssä katsottiin myös niiden hyötyjä sekä haasteita.

Ensiksi käytiin läpi polygonimallinnusta. 3D-primitiivistä aloitetusta mallista saadaan polygonien, reunojen ja verteksien manipuloinnilla valmismalli. Katsoimme myös avoimen lähdekoodin Blender -mallinnusohjelmistoa. Tiiviin yhteisön keränneen ohjelmisto ei kumminkaan ole vielä päässyt isoon läpimurtoon pelialalla.

Seuraavaksi tutkittiin digitaalista veistoa. Työtavassa yksittäisten polygonien liikuttelun sijaan käytetään siveltimiä, joiden vedoilla saa muokattua ja muovattua digitaalista savea. Yksityiskohtaisten mallien tekoa auttaa pelialalla kovassa käytössä oleva ZBrush -ohjelmisto, joka mahdollistaa mikä miljoonien polygonien muokkaamisen.

Kolmanneksi katsottiin fotogrammetriaa. Muista poikkeavassa työtavassa tehdään virtuaalisia versioita oikeista esineistä. Työskentelyä on vielä mahdollista automatisoida, jolloin jo tehokkaasta työtavasta saadaan vielä tehokkaampi. Fotogrammetria kumminkin vaatii oikeita esineitä, joka saattaa vaikeuttaa työskentelyä.

Tarkimmin tutkittiin vaatesimulaatiota, jossa kankaiden ominaisuuksia lasketaan tietokoneella. Vaatesimulaation käyttö mahdollistaa vaatteiden laskostuksen automaattisen tekemisen simuloimalla. Samalla katsottiin myös vaatesimulaatiota videopeleissä, joissa heikolla laadulla simuloituihin kankaisiin saadaan eloa. Käytiin myös läpi Marvelous Designer -ohjelmistoa. Oikeaan vaatekehitykseen pohjautuvassa ohjelmistossa tehdään vaatteille ompelukaavat, jotka digitaalisesti ommellaan yhteen ja asetellaan hahmolle.

Käytännön osuudessa käytiin läpi vaatetuksen mallintaminen pelihahmolle. Työssä oli käytössä vaatesimulaatio-ohjelmisto Marvelous Designer, joka lisäsi työvaiheen ja uuden ohjelmiston perinteisempään työnkulkuun. Aluksi suunniteltiin, mitä oltiin tekemässä, minkä jälkeen siirryttiin suoraan vaatesimulaatioon. Marvelous Designerin tehokas vaatetusten muokattavuus mahdollisti tuottavan lisän työnkulkuun. Vaatesimulaatio vaati vielä tarkempia yksityiskohtia, joita saatiin tehtyä ZBrushissa. Tarkan 3D-mallin jälkeen piti tehdä pelivalmismalli, joka vielä lopuksi teksturoitiin Substance Painterissa.



## Lähteet

- 1 9 Different Types of 3D Modeling for Designers. Foyr [online]. Create Beautiful 3D Designs. 2020 [viitattu 20.10.2020]. Saatavilla: <https://foyr.com/learn/types-of-3d-modeling/>
- 2 Silverman D. 3D Primer for Game Developers: An Overview of 3D Modeling in Games [online]. Game Development Envato Tuts+. 2013 [viitattu 29.10.2020]. Saatavilla: <https://gamedevelopment.tutsplus.com/articles/3d-primer-for-game-developers-an-overview-of-3d-modeling-in-games--gamedev-5704>
- 3 Polygonal Modeling | Maya 2016 | Autodesk Knowledge Network [online]. Knowledge.autodesk.com. 2021 [viitattu 3.11.2020]. Saatavilla: <https://knowledge.autodesk.com/support/maya/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2016/ENU/Maya/files/GUID-7941F97A-36E8-47FE-95D1-71412A3B3017-htm.html>
- 4 Sergeev A. Is Blender Becoming An Industry Standard? [online]. 80.lv. 2020 [viitattu 3.11.2020]. Saatavilla: <https://80.lv/articles/is-blender-becoming-an-industry-standard/>
- 5 Blender Foundation. About — blender.org [online]. blender.org. [viitattu 3.11.2020]. saatavilla: <https://www.blender.org/about/>
- 6 The GNU General Public License v3.0- GNU Project - Free Software Foundation [online]. Gnu.org. 2007 [Viitattu 3.11.2020]. Saatavilla: <https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html>
- 7 Foundation B. Sculpting — blender.org [online]. blender.org. [viitattu 9.11.2020]. Saatavilla: <https://www.blender.org/features/sculpting/>
- 8 Salomaa H. Video Games and Costume Art -digitalizing analogue methods of costume design. MA thesis. Aalto University School of Arts, Design and Architecture. 2018. 104S. Saatavilla: [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/31342/master\\_Salomaa\\_Heli\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/31342/master_Salomaa_Heli_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- 9 HEGINBOTHAM C. What is 3D Digital Sculpting? [online]. Concept Art Empire. [viitattu 9.11.2020]. Saatavilla: <https://conceptartempire.com/what-is-3d-sculpting/>
- 10 ZBrush 2021.6 [online]. Pixologic.com. [viitattu 10.11.2020]. Saatavilla: <http://pixologic.com/features/about-zbrush.php>
- 11 Photogrammetry Software | Photos to 3D Model | Autodesk [online]. Autodesk.com. [viitattu 11.11.2020]. Available from: <https://www.autodesk.com/solutions/photogrammetry-software>
- 12 Lachambre S, Lagarde S, Jover C. Photogrammetry Workflow [online]. Unity3d.com. 2017. Saatavilla: [https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow\\_2017-07\\_v2.pdf](https://unity3d.com/files/solutions/photogrammetry/Unity-Photogrammetry-Workflow_2017-07_v2.pdf)
- 13 Hamilton A, Brown K. Photogrammetry and Star Wars Battlefront [online]. EA DICE. 2016. Saatavilla: <https://www.slideshare.net/DICEStudio/photogrammetry-and-star-wars-battlefront>
- 14 Cloth introduction — Blender Manual [online]. Docs.blender.org. [viitattu 10.11.2020]. Saatavilla: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/physics/cloth/introduction.html>
- 15 Härkönen H. Muotioikeus - Fashion law'n synty, ydin ja ongelmat. Maisterintutkielma. Lapin yliopisto. 2013.101S. Saatavilla: <https://lauda.ulapland.fi/handle/10024/60207>
- 16 Meindertsma J. Patterns and copyright protections | Copyright Corner [online]. Library.osu.edu. 2014 [Viitattu 26.10.2021]. Saatavilla: <https://library.osu.edu/site/copyright/2014/07/14/patterns-and-copyright-protections/>
- 17 Croonborg F. Grand edition of Supreme system for producing men's garments. New York: Croonborg Sartorial Co; 1907.
- 18 Harisova E. Cloth Simulation for Games: Difficulties and Current Solution [online]. 80.lv. 2020 [viitattu 10.11.2020]. Saatavilla: <https://80.lv/articles/cloth-simulation-for-games-difficulties-and-current-solutions/>
- 19 Texturing - polycount [online]. Wiki.polycount.com. [viitattu 12.11.2020]. Saatavilla: <http://wiki.polycount.com/wiki/Texturing>
- 20 LearnOpenGL - Theory [online]. Learnopengl.com. [viitattu 12.11.2020]. Saatavilla: <https://learnopengl.com/PBR/Theory>

- 21 The PBR Guide - Part 1 on Substance 3D Tutorials [online]. Substance3d.adobe.com. 2018 [viitattu 12.11.2020]. Saatavilla: <https://substance3d.adobe.com/tutorials/courses/the-pbr-guide-part-1>
- 22 The PBR Guide - Part 2 on Substance 3D Tutorials [online]. Substance3d.adobe.com. 2018 [viitattu 12.11.2020]. Saatavilla: <https://substance3d.adobe.com/tutorials/courses/the-pbr-guide-part-2>
- 23 angelaxiotis. Free Base Mesh [online]. Sketchfab. 2016 [viitattu 27.10.2021]. Saatavilla: <https://sketchfab.com/3d-models/free-base-mesh-e4049b5274904bf5ab91001b2bc25eae>
- 24 Drazen. Female base mesh [online]. Sketchfab. 2020 [viitattu 27.10.2021]. Saatavilla: <https://sketchfab.com/3d-models/female-base-mesh-b6389ae82f044dbe9945c4dad2cd72ae>
- 25 mandragorasprout. Male body base mesh [online]. Sketchfab. 2020 [viitattu 27.10.2021]. Saatavilla: <https://sketchfab.com/3d-models/male-body-base-mesh-9311f4f8fa1a4fe4bb0027ff7e8fd795>