



Pietari Kallio

Reaaliaikaisten 3D-silmien luominen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Medianomi (AMK)

3D-animointi ja -visualisointi

Opinnäytetyö

19.05.2025

Tiivistelmä

Tekijä(t): Pietari Kallio
Otsikko: Reaaliaikaisten 3D-Silmien Luominen
Sivumäärä: 34 sivua + 2 liitettä
Aika: 19.05.2025

Tutkinto: Medianomi (AMK)
Tutkinto-ohjelma: 3D-animointi ja -visualisointi
Ohjaaja(t): Lehtori Kristian Simolin

Tämä opinnäytetyö on katsaus silmien luomisesta reaaliaikaisille 3D-hahmoille. Käyn läpi menetelmät silmien luomisessa ja mitä kaikkea itse prosessissa kuuluisi ottaa huomioon alustavassa vaiheessa, referenssin käytössä, mallinnuksessa, teksturoinnissa ja renderöinnissä.

Asiasanat: Silmä, Silmät

Opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author(s): Pietari Kallio
Title: Creating real-time 3D-eyes
Number of Pages: 34 pages + 2 appendices
Date: 19.05.2025

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

This thesis goes through the process of creating eyes in real-time for 3D-characters. We'll go through the methods used in the creation of the eyes, as well as all the important factors to take note of during the process itself such as the initial phases, using reference, modeling, texturing and rendering.

Keywords: Eye, Eyes

This thesis has been checked using Turnitin Originality Check service.

Sisällys

1 Johdanto	4
2 Alkuvaiheet	4
2.1 Suunnittelu	4
2.2 Referenssi	5
2.2 Anatomia	7
3 Mallinnus	9
3.1 Mallinnuksen ensivaiheet	9
3.2 Mallinnuksen eteneminen	13
3.4 High-poly mallin luominen	20
4 UV-kartoitus ja teksturointi	24
5 Materiaalit ja renderöinti, sekä viimeistely	27
6 Yhteenveto	32
Lähteet	33
Kuvalähteet	34
Liitteet	35

1 Johdanto

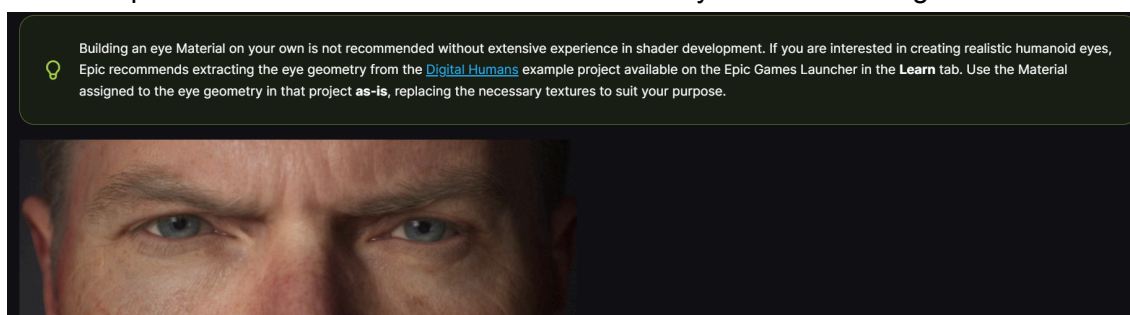
Miten kolmiulotteinen silmä luodaan, on usein sidonnainen siihen minkälainen tyyliisuunta on kyseessä peli-, animaatio- tai vfx-projektissa. Realistisen 3D-silmän luominen on ylivoimaisesti työläin näistä kaikista luomismetodeista. Sen sijaan tyylitellyn tai yksinkertaistetun 3D-silmän luominen voi olla yllättävän helppoa realistisen silmän tekstuurien, materiaalien ja erilaisten tertiääristen yksityiskohtien luomisen työtaakkaan verrattuna. Joten on hyvä selvittää mikä on projektin kannalta oleellista, sekä oikeaoppista.

2 Alkuvaiheet

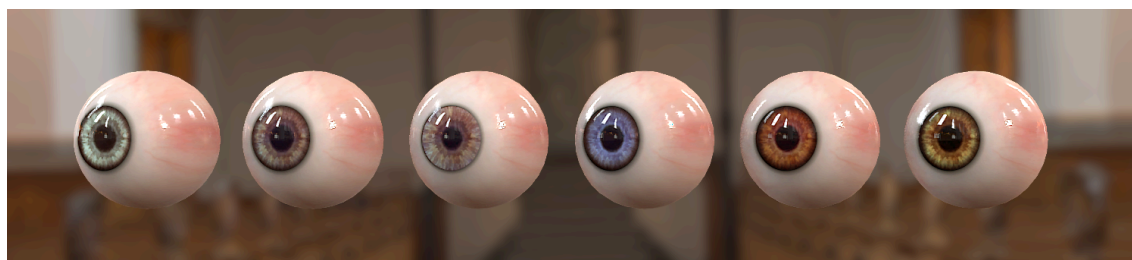
2.1 Suunnittelu

Kun projektia aloitetaan, on hyvä kysyä itseltään mikä on projektin käyttötarkoitus. Jos ideana on luoda realistinen silmä joka tuodaan Unreal Engineen, voi olla suositeltavaa olla käyttämättä aikaa oman realistisen silmän luomiseen ja käyttää Epic gamesin vapaasti Unreal Enginen sisäiseen käyttöön saatavilla olevia Metahumans projektin silmiä. Metahumans projektin silmät ovat jo valmiiksi hyvin realistisia, suhteellisen helposti muokattavia, sekä niin laadukkaita, että myös optimoituja Unreal Enginen sisäistä käyttöä varten että oman realistisen silmän luomisen voisi nähdä suhteellisen turhana. Myös Epic Games itse suoraan suosittelee suoraan käyttämään Metahumans projektin omien silmien geometriaa ja materiaaleja. (kuva 1), (Epic Games, 2024).

Kuva 1. Epic Gamesin suositus realististen silmien käytöstä Unreal Enginen sisällä.



Unityn kohdalla, voi olla myös suositeltavaa käyttää valmiiksi Unityn sisäiseen "High Definition Render Pipeline (HDRP)" käyttöön luotua silmän varjostinta. Unity 2023), (kuva 2).



Muihin reaaliaikaisiin moottoreihin kuten Blenderin EEVEE:n, Marmose Toolbagin kannalta ei suoraan tarjota omaa verrannollisia systeemejä käyttäjille.

2.2 Referenssi

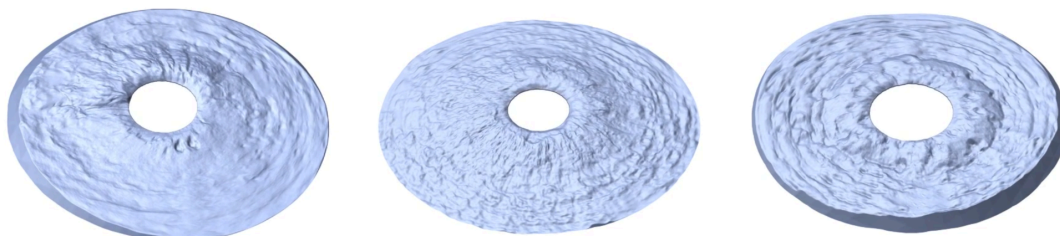
Niinkuin minkä tahansa muun 3D-mallin luomisessa, hyvä visuaalinen vertailukuva on tärkeä etenkin anatomisten virheiden välttämiseksi. On hyvä

aloittaa etsimällä Internetistä kuvia, tai ottaa kameralla kuvia vaikka omista silmistä, jotta voi kunnolla opiskella silmän eri piirteet ja anatomiset muodot oikeaoppisesti. (Pluralsight, 2014.)

Etenkin koska tekoälyllä luotujen kuvien määrä on lisääntynyt viime vuosina merkittävästi internetissä ja ero oikean kuvan ja tekölyn generoiman kuvan välillä voi olla joskus vaikeaa havaita, täten anatomisesti korrektien kuvien löytäminen voi olla haastavaa.

On myös anatomian vertailun kannalta hyvä välttää 3D-malleja tässä aiheessa, sillä 3D-artisti voi hyvinkin jättää anatomisia yksityiskohtia huomioimatta ja tätä kautta mallintamatta. 3D-malleissa poikkeuksena on skannatut silmän mallit jossa 3D-mallin geometria pohjautuu oikeaan silmään. Skannausmenetelmän avulla voi mennä erittäin pitkälle, sillä tämän avulla voidaan esimerkiksi tarkkailla pupillin erilaista kokoa supistuksen ja laajenemisen eroja suoraan 3D-mallissa. (Disney Research Hub 2016), (kuva 3)

Iris Geometry



Kuva 3. Esimerkki skannatuista iiriksistä ja pupilleista.

Näitä resursseja voi olla tosin hankala löytää, etenkin ladattavana 3D-tiedostona, sillä ne ovat usein yhtiöiden sisäiseen tutkimus- ja kehitystoimintaa varten luotuja malleja.

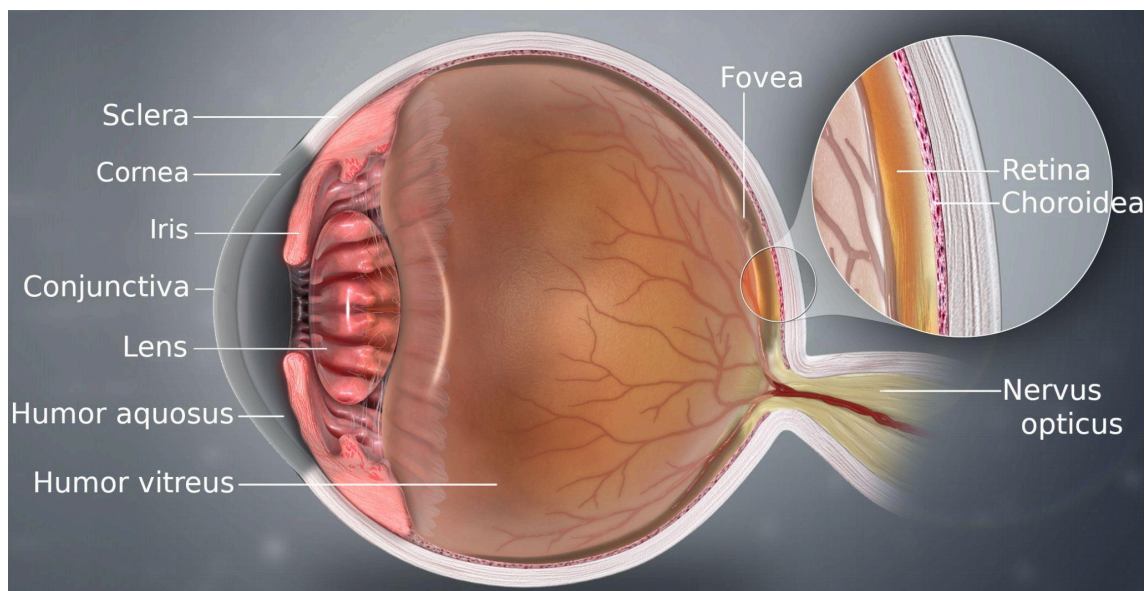
Etenkin iiriksen ja pupillin alueen tarkkailu lähempää on tärkeää jos 3D-mallia haluaa esittää lähietäisyydeltä, sillä iiriksen ja pupillin alueen muodot voivat olla yllättävän monimutkaisia ja uniikkeja, mitä ei välttämättä kauempaa katsomalla huomaa.

Mitä oman referenssin luomiseen tulee, omista silmistä kuvien ottaminen tyypillisellä älypuhelimien kameralla toimii yleisten muotojen ja materiaalien hahmottamisessa, mutta iiriksen ja pupillin pienten yksityiskohtien saaminen valokuvaan ilman järjestelmäkameraa oikeanlaisella linssillä on käytännössä mahdotonta.

Referenssin etsimisen kannalta on siis hyvä yrittää välttää kuvia jotka eivät ole oikeita sillä ne sisältävät helposti anatomisia virheitä.

2.2 Anatomia

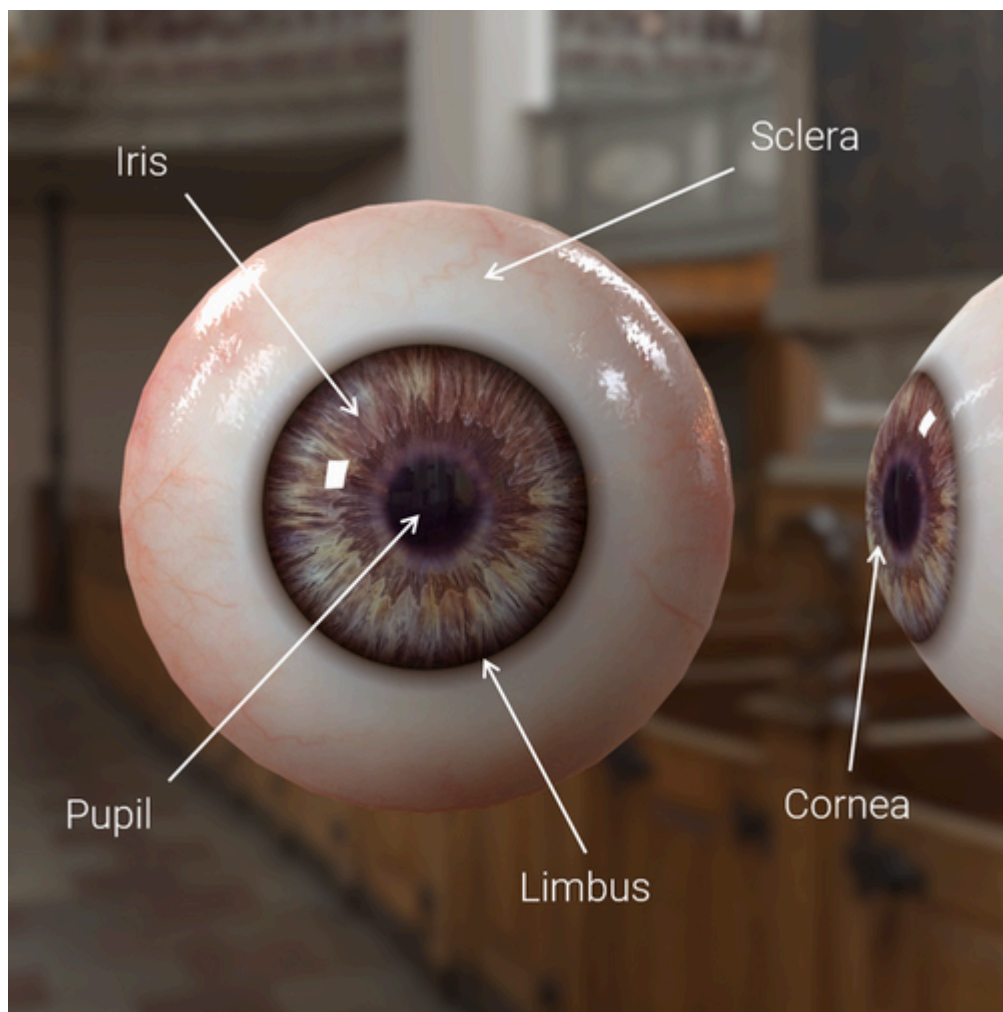
Mikä usein erottaa realistisen silmän luomisen tyylitelystä mallista, missä projektin suunnitellulla tyylillä on enemmän merkitystä ovat korrekkit anatomiset piirteet joiden luomisessa vaaditaan ymmärrystä silmän mittasuhteista ja toiminnallisista yksityiskohdista. Jotta tämän voi saavuttaa, anatomian tunteminen on tärkeää.(kuva 3)



Kuva 3. silmän anatomiset piirteet.

Realistisesti toteutetun silmän erottaa tyylitellystä tai teknisten rajoitteiden kanssa luodusta silmästä usein sarveiskalvon pullistuma ja iiriksen alueen konkaavi muoto. Sarveiskalvon ulkoneva muoto vaatii enemmän polygoneja sekä läpinäkyvän materiaalin, johon kaikkien laitteiden suorituskyky ei välttämättä riitä. Sama koskee iiriksen konkaavia muotoa, joka vaatisi enemmän polygoneja mallin renderöinnille tai vähintään normal mapin. Normal mapin avulla voidaan luoda syvenevän muodon illuusio millä voidaan saavuttaa haluttu tulos renderöinnin kannalta, mutta voi vaatia laitteistolta liikaa.

Materiaalien kannalta anatomian tutkiminen on myös tärkeää jotta mallin varjostimet voidaan säätää oikeaoppisesti. Oleellisia esimerkkejä tästä ovat miten valo taittuu sarveiskalvon läpi kulkeutuessa, IOR-arvot, eli taitekertoimien arvot (eng. index of refraction), tai miten silmän pinnan läpi tunkeutunut valo siroutuu vuorovaikutuksessa materiaalin kanssa ja mahdollisesti poistuu pinnan eri kohdasta. (kuva 4), (Unity 2023)



Kuva 4. Esimerkki realistisen 3D-silmän materiaaleista.

Mallinnuksen alkuvaiheen kannalta jos haluaa noudattaa realistisia mittasuhteita, ihmisen silmän tyypillisimmät mitat ovat:

- 3 Transversaali(poikittainen) noin 24 mm
- 4 Sagittaalinen(kohtisuora) noin 23 mm
- 5 Aksiaalinen noin 22.0-24.8 mm
(Bekerman, Gottlieb, Vaiman 2014)

3 Mallinnus

3.1 Mallinnuksen ensivaiheet

Ensivaiheen yleisin metodi mallinnussprosessista riippumatta on alhaisesta polygoni-määrästä suurempaan määrään etenevä mallinnustapa, eli niin sanottu low-poly to high-poly workflow, tai käytännössä polygonien kannalta yksinkertaisemmasta muodosta monimutkaisempaan.

Koska silmän muoto on lähes täysin pallonmuotoinen, kannattaa myös basemeshin (3D-mallin alustavan muodon) reflektoida tätä.

Alkuvaiheeseessa, basemeshin valinnoissa kallistutaan yleensä joko UV-palloon, tai kuutioon johon lisätään geometriaa kunnes siitä saadaan pallonmuotoinen. Molemmissa on omat vahvuudet ja heikkoudet silmän luomisprosessin ja presentaation kannalta.

UV-pallo(UV-sphere)

Vahvuudet

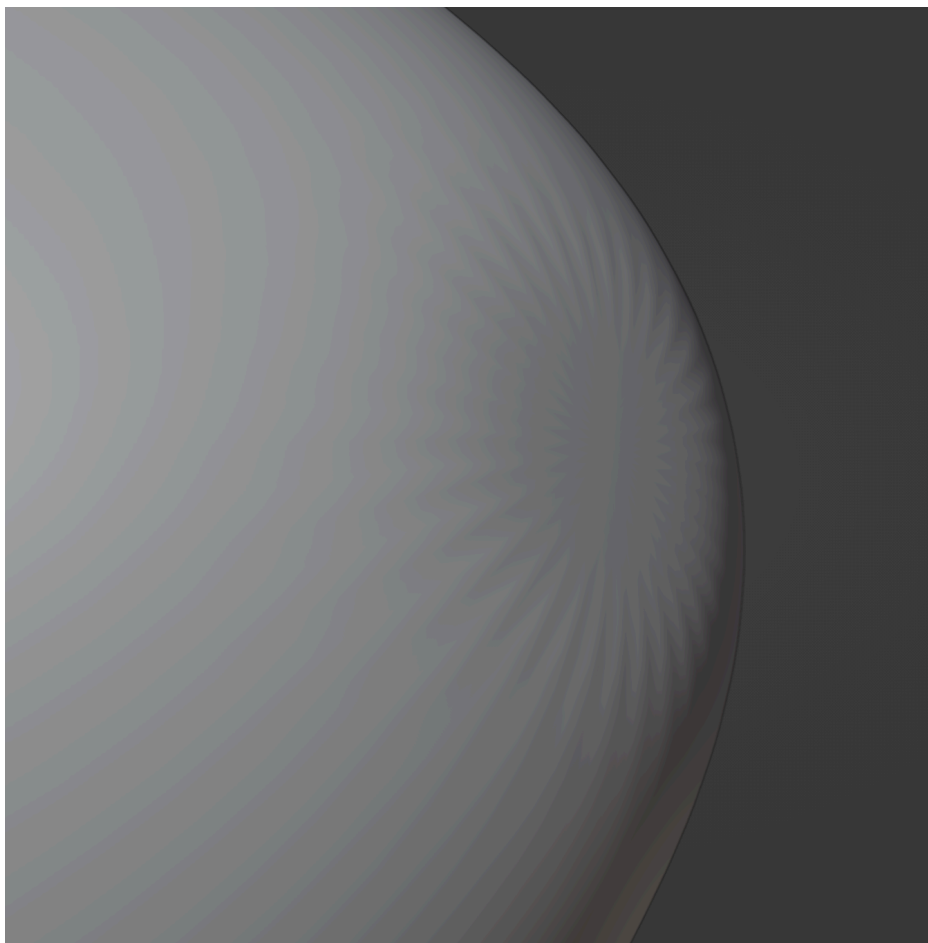
- Vaatii vähemmän geometriaa jotta saadaan pallomainen muoto.
- Yksinkertaisempi ja suoraviivaisempi UV-kartoitus.
- Helpompi projisoida tekstuuri mallin päälle.
- Suoraviivainen "edgeflow" eli, kuinka mallin edget(särmät) sijoittuvat topologian kannalta ja virtaavat sen pinnalla.

Heikkoudet

- UV-pallon navat koostuvat N-goneista, jotka koostuvat tiheästi rykelmässä yhdistetyistä kolmioista. Tämä ei ole aina ongelma, mutta N-gonit aiheuttavat helposti ongelmia niin UV-kartoituksessa kuin teksturoinnissa ja renderöinnissä, esimerkiksi venymistä tekstuureissa, tai artefakteja varjostuksessa (kuva 5). Navat voivat myös aiheuttaa

suorituskyvyn kannalta pullonkauloja, jos esimerkiksi pelimoottorin LOD(level of detail) systeemi on huonosti optimoitu.

- Epätasainen geometrian jakaus. Mallin polygonien määrä on tiheämpää tai harvempaa eri kohdissa.
- Subdivide ongelma. Molemmat edellä mainitut seikat hankaloittavat geometrian lisäämistä jakamalla sitä, kolmioiden ja epätasaisen geometrian myötä.



kuva 5. Navan varjostusartifaktit.

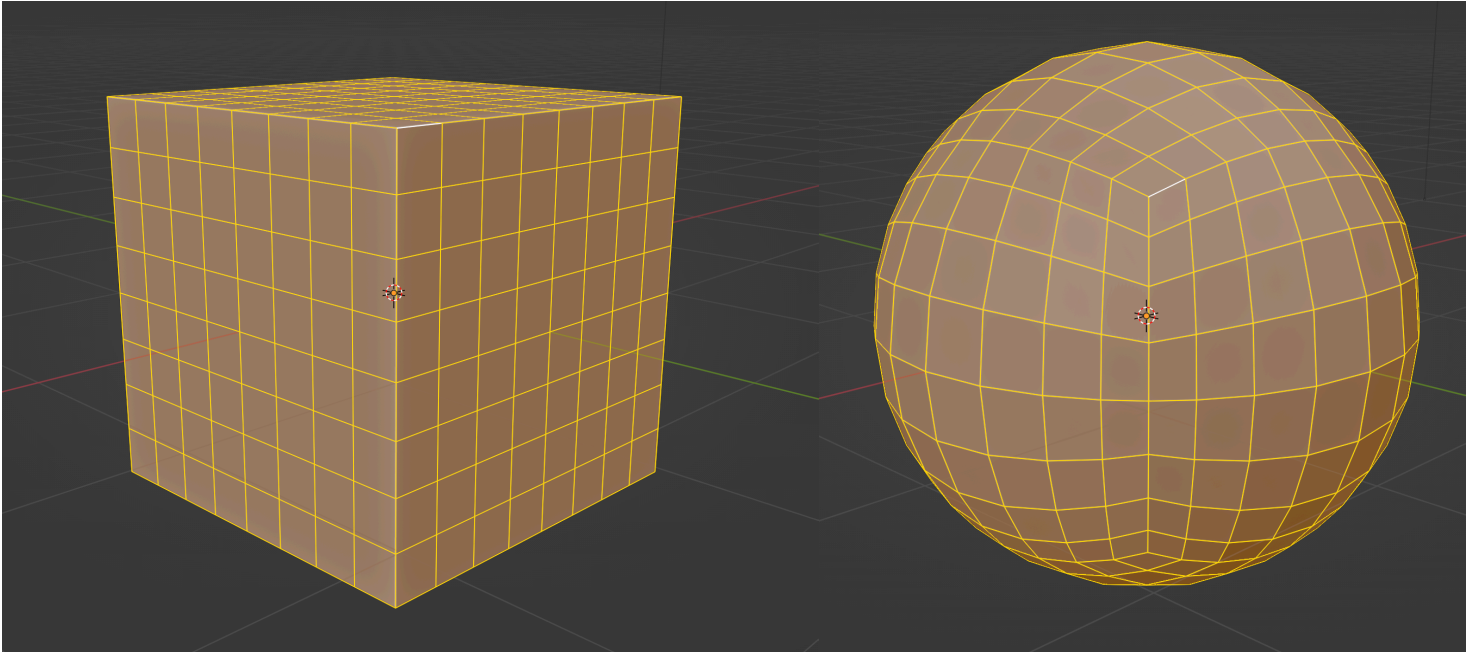
Kuutio pallo

Vahvuudet

- Neliöistä muodostuva topologia. (kuva 6)
- Tasainen topologia.
- Helposti lisättävä tai vähennettävä polygonien määrä.

Heikkoudet

- Vaikeampi tai aikaavievämpi UV-kartoitus.
- Vaatii enemmän geometriaa ja on tätä kautta raskaampi suorituskyvyn kannalta.
- Mallin saaminen haluttuun muotoon voi viedä enemmän aikaa.



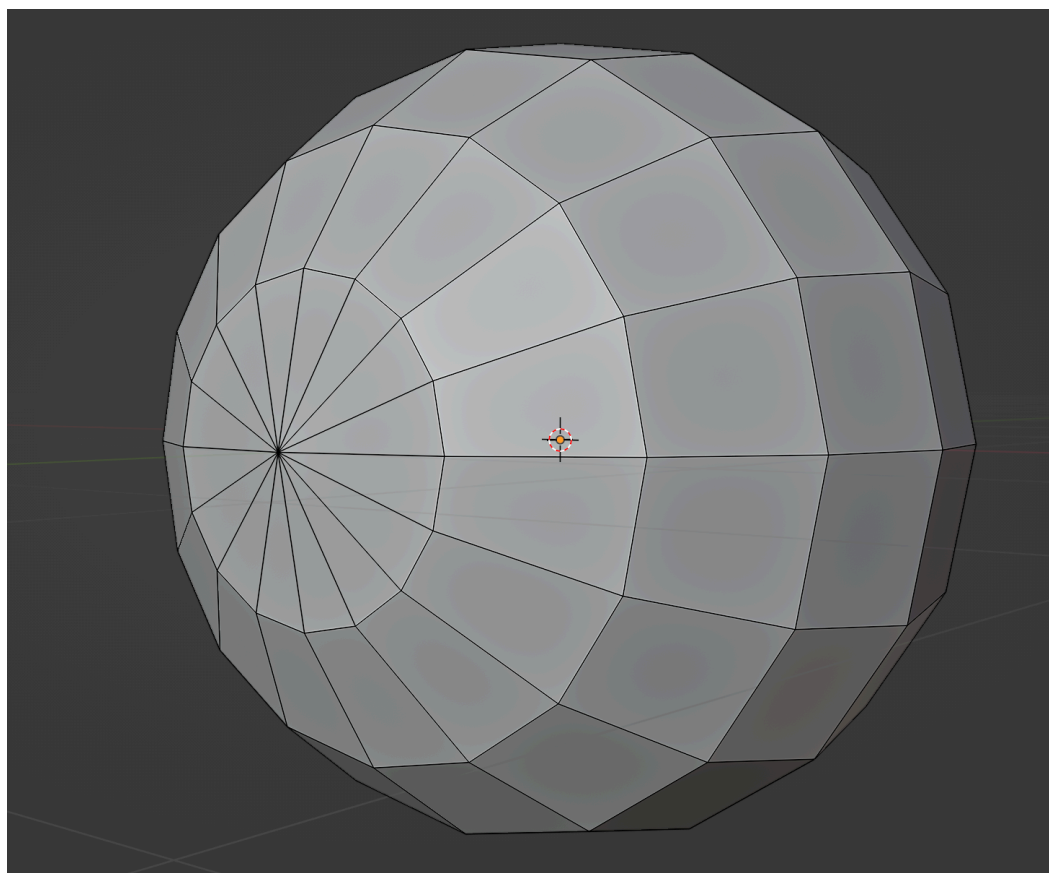
Kuva 6. Esimerkki kuutiosta luodusta pallosta.

Koska voidaan nämä seikat ottaen huomioon todeta että UV-pallon isoin ongelma on meshin napa-alue joka koostuu N-goneista, ja muokatun kuution heikkoudet taas UV-kartoitus ja isompi polygonien määrä, kompromissina esimerkissä käytetään UV-palloa missä N-gonit ovat poistettu meshin navoista ja korvattu nelikulmioisella topologialla. Tällä tavalla saadaan mukaan molempien metodien halutuimmat puolet, samalla säästytään heikommilta osa-alueilta.

Silmänluonti lähtee liikkeelle siis alustavasta meshistä joka on helppoin muokata lähemmäksi haluttua lopputulosta. Tässä tapauksessa käytetään UV-palloa (eng. UV-sphere) joka mallinnetaan projektille sopivaan muotoon.

Polygonien määrä tai meshin pyöreä muoto ei ole vielä tässä kohtaa oleellinen sillä myöhemmin muokatussa meshissä, missä ei ole kolmiota pystyy helposti lisätä geometriaa. Joten UV-pallon segmenttien ja kehän topologiaksi riittää hyvin vaikka 16×8 .

Tässä tapauksessa on tärkeää, että alue missä silmän pupilli istuisi, on asetettu siihen missä UV-Pallon navan keskipiste on, sillä tämä helpottaa UV-kartoitusta, sekä teksturointivaihetta. Kääntämällä mallia 90 astetta alaspäin.(kuva 7).

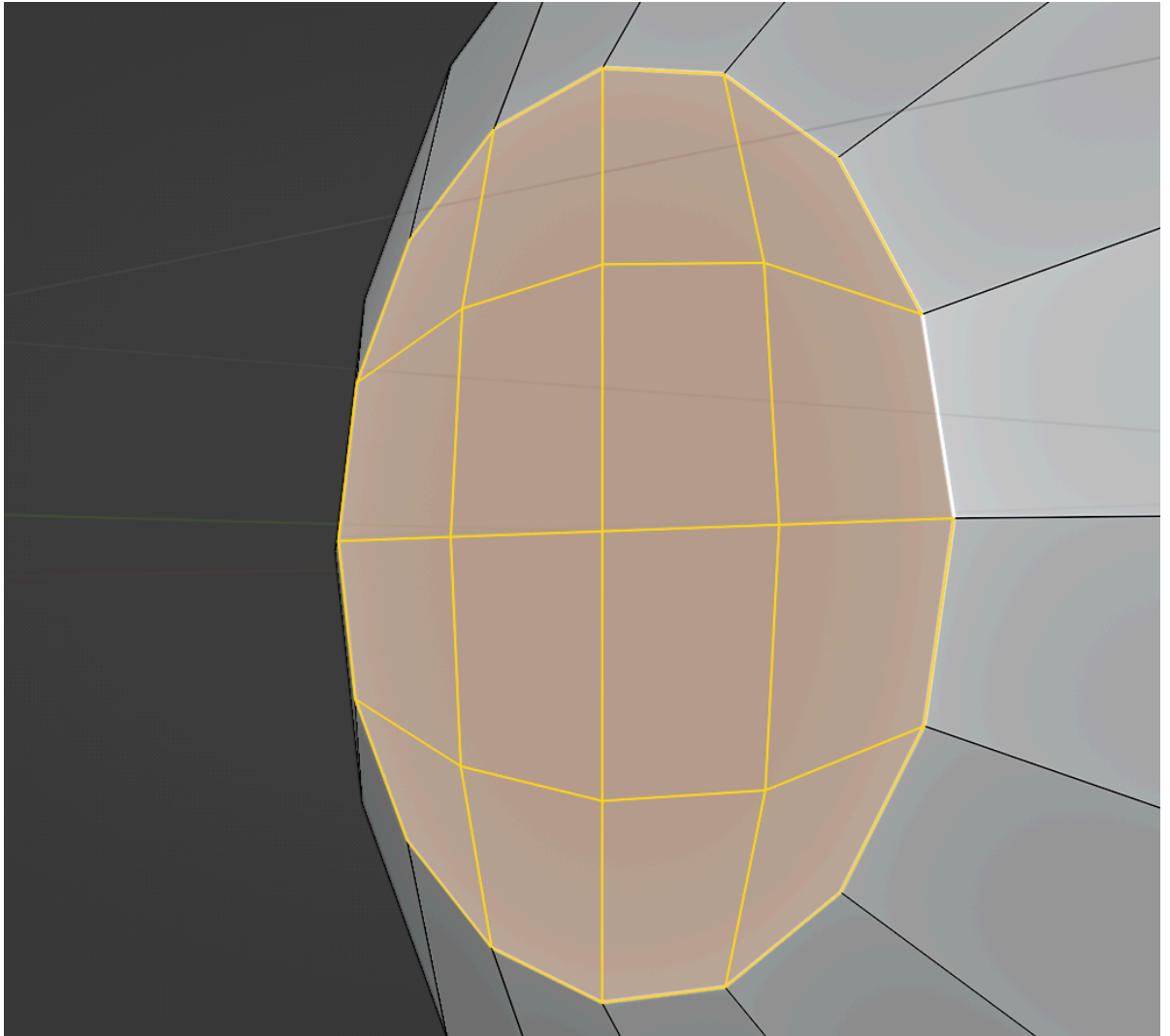


Kuva 7. rotatoitu UV-pallo.

3.2 Mallinnuksen eteneminen

Seuraavaksi hankkiudutaan eroon mallin N-goneista, yksinkertaisesti poistamalla navan ympyrä missä on kolmioita. Tämän jälkeen voi joko manuaalisesti mallintamalla tai huomattavasti nopeammin käyttämällä Blenderin

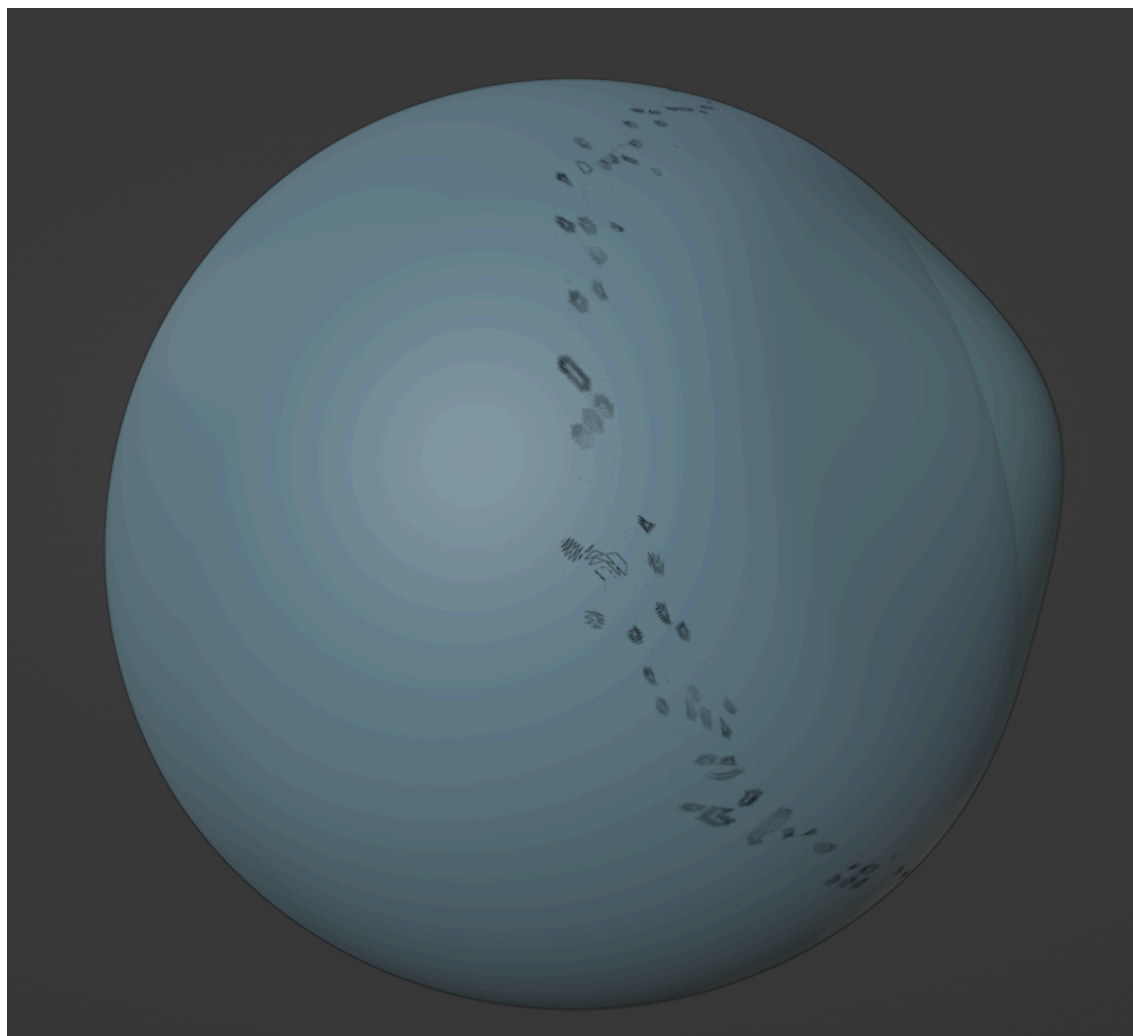
“grid fill” toimintoa.(kuva 8) N-gonit silmän takaosassa eivät haittaa, sillä ne eivät tyypillisesti näy, ellei tarkoituksena ole esittää silmää kokonaisuudessaan.



Kuva 8. korjattu topologia

Tämän jälkeen, voi koittaa lisätä polygoneja malliin “subdivide” ja tarkastella kuinka hyvin se toimii. Juuri luodulle silmän etuosaan, johon iiris tulee voi mahdollisesti lisätä yhden tai parin tukevan “edge loopin”, mutta tämä ei ole täysin välttämätöntä. Iiriksen kokoa voi olla vaikea hahmottaa, joten anatomisen referenssin käyttäminen on hyödyllistä. Tämän voi tehdä silmämääräisesti, tai esimerkiksi tuomalla kuva ohjelman sisälle ja skaalaamalla iiris oikean kokoiseksi pitämällä kuvaa 3D-mallin edessä tai vieressä.

Sarveiskalvon luomista varten malli monistetaan ja silmän etuosaa siiretään hieman eteenpäin pieneksi pullistumaksi iiriksen ja pupillin kohdalla. Tämä on realismin tavoittamisessa tärkeää sillä oikea silmä ei ole täydellisen pyöreä, ja vielä vähemmän litteä, vaan silmän etuosa työntyy ulospäin silmän muusta muodosta. Tätä muotoa usein myös liioitellaan hieman jotta pullistuma olisi helpommin huomattavissa 3D-malleissa, mutta se ei ole pakollista. (Pluralsight, 2014.) (kuva 9).

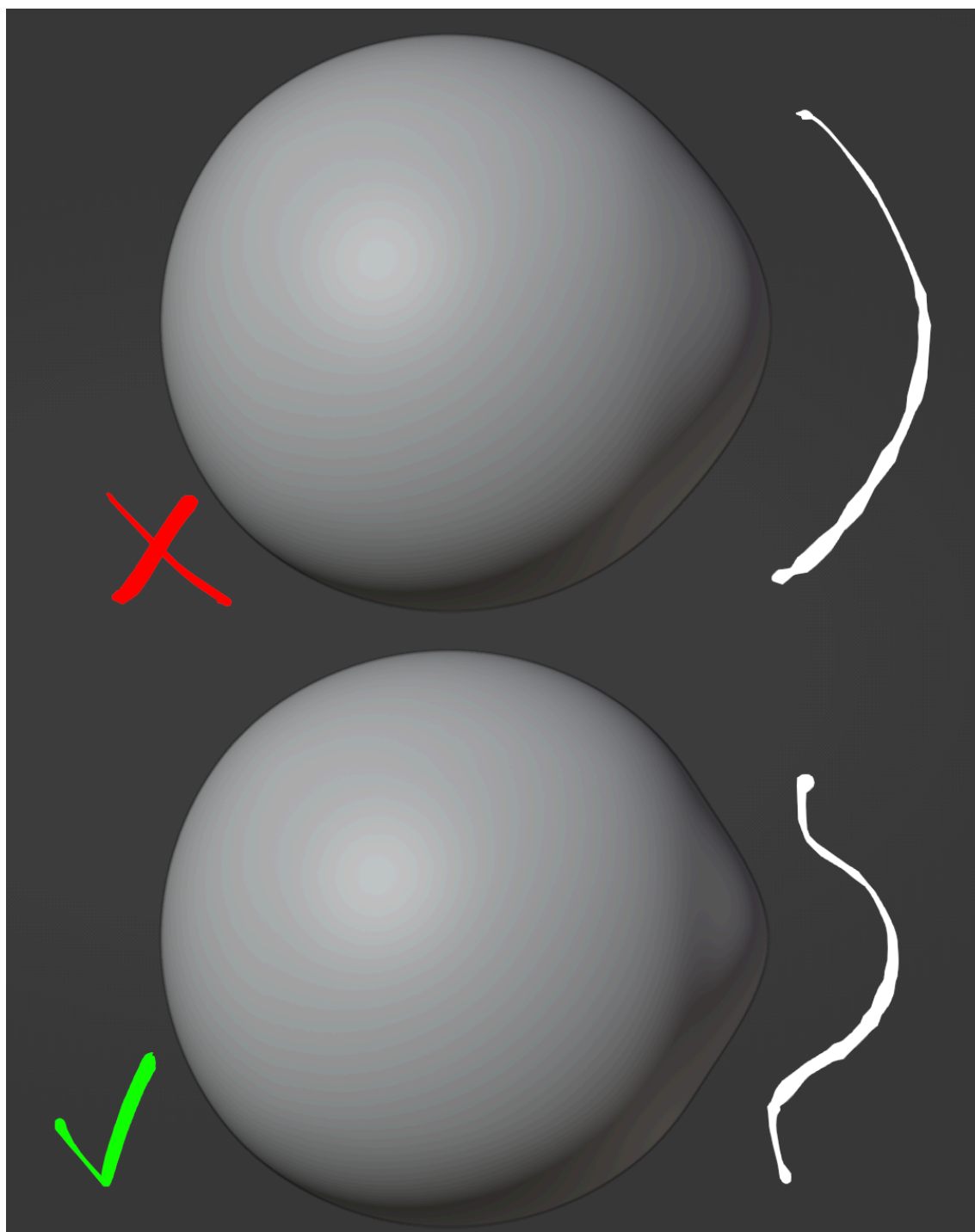


Kuva 9. Sarveiskalvo ja Z-fighting

Jotta Z-fighting ilmiöstä päästään eroon, pitää sarveiskalvoa skaalata hieman suuremmaksi, tai alkuperäistä mallia hieman pienemmäksi. (kuva 4)

Itse sarveiskalvon pullistuman luomisessa on myös hyvä kiinnittää huomiota siihen miten se muodostuu silmän ympärille seuraamalla anatomista

referenssiä. Tutkimalla kohtaa mistä etukammio alkaa, huomaa että muoto iiriksen ja pupillin edessä ei ole niinkään sileän pyöreää, vaan ympäriltä löytyy selkeä kurvi.(kuva 10)

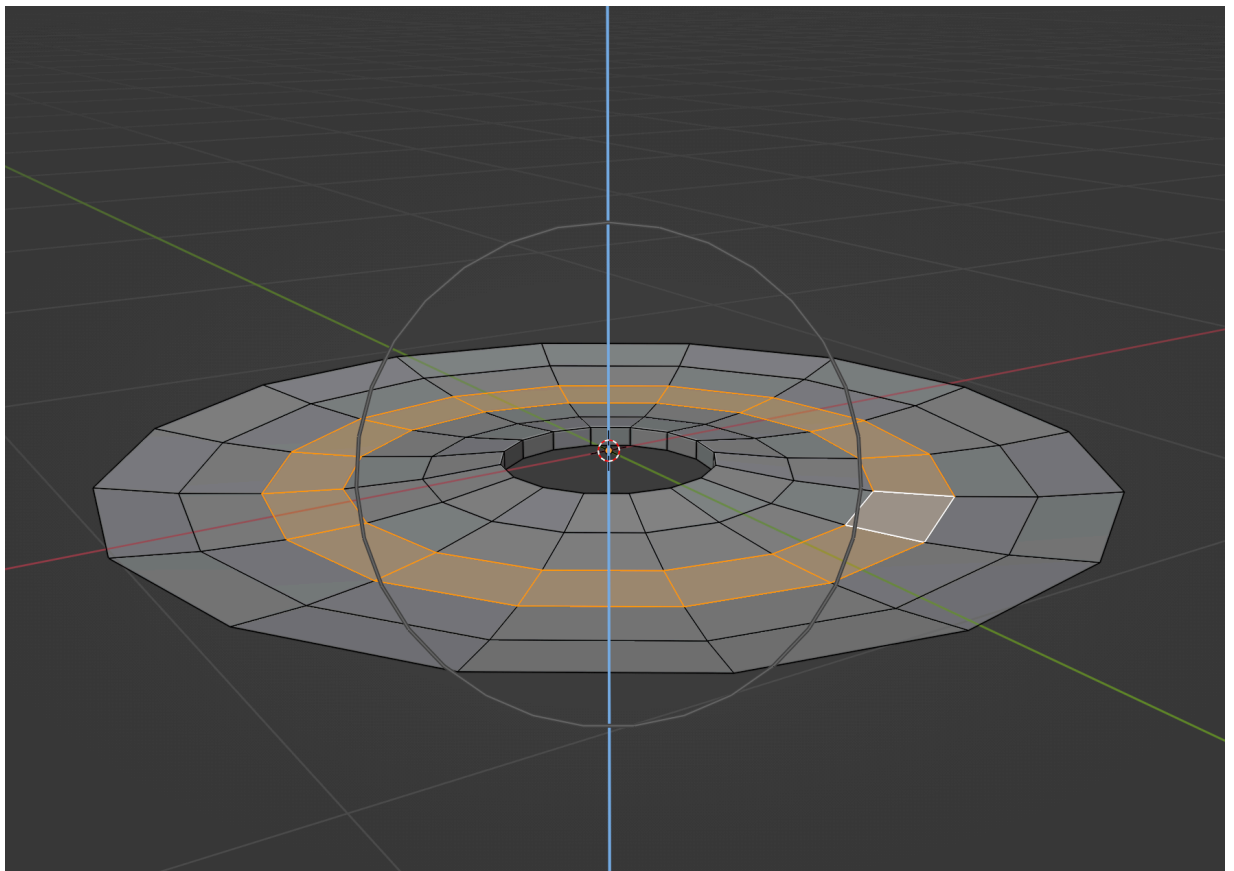


Kuva 10. Sarveiskalvon pullistuman muoto

3.2 liris ja pupilli

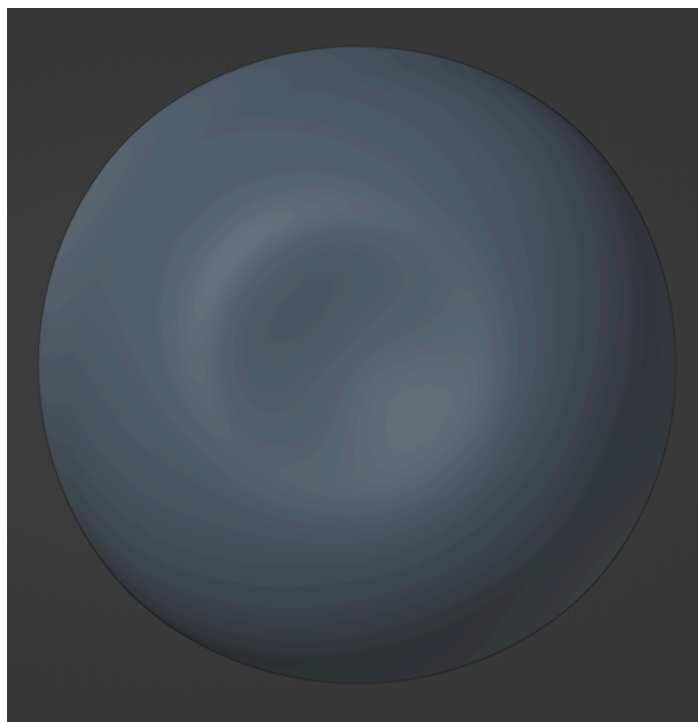
Iiriksen voi mallintaa joko kiinni silmän valkuaiseen tai täysin erillisenä objektina modulaarisuuden vuoksi. Kuva 11

Erillinen iiris mahdollistaa sen että silmän muokkaaminen voi olla helpompaa jos sitä pitää tehdä jälkikäteen, mutta erillisen objektin liitoskohta toisen meshin kanssa vaatii hienovaraisuutta ja mahdollisesti varjostimien kanssa säätelyä. Koska iiriksen pitäminen erillisenä objektina voi tuoda projektiin liikaa turhaa monimutkaisuutta ja mahdollisia rendaukseen liittyviä ongelmia, iiris mallinnetaan esimerkissä suoraan alkuperäiseen objektiin.

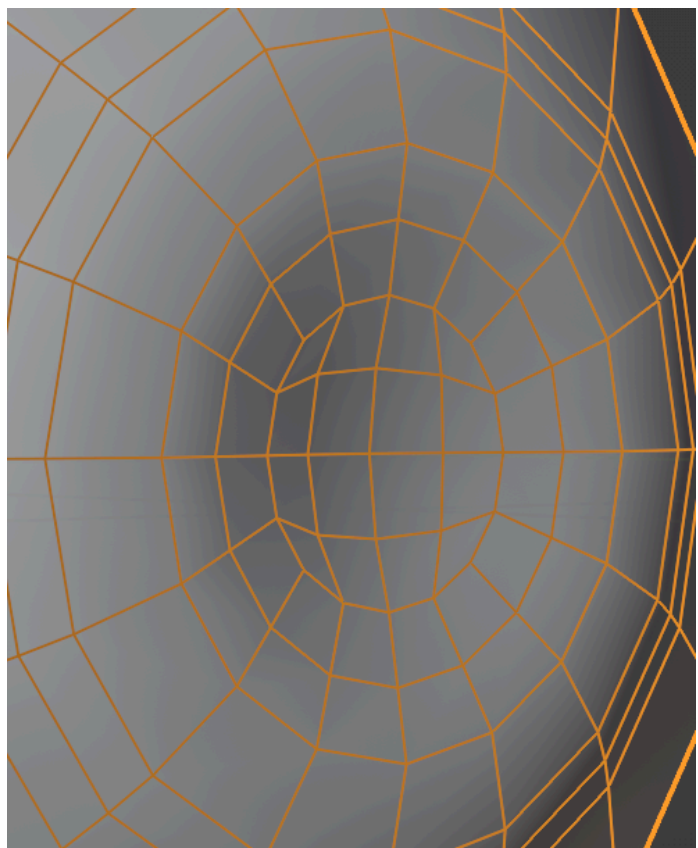


Kuva 11.

liris ei ole täysin litteä, vaan muodoltaan hieman konkaavi, joten geometrian kuuluisi realismin tavoittelun kannalta työntyä sisäänpäin iiriksen kohdalla.
(kuva 12 ja 13)



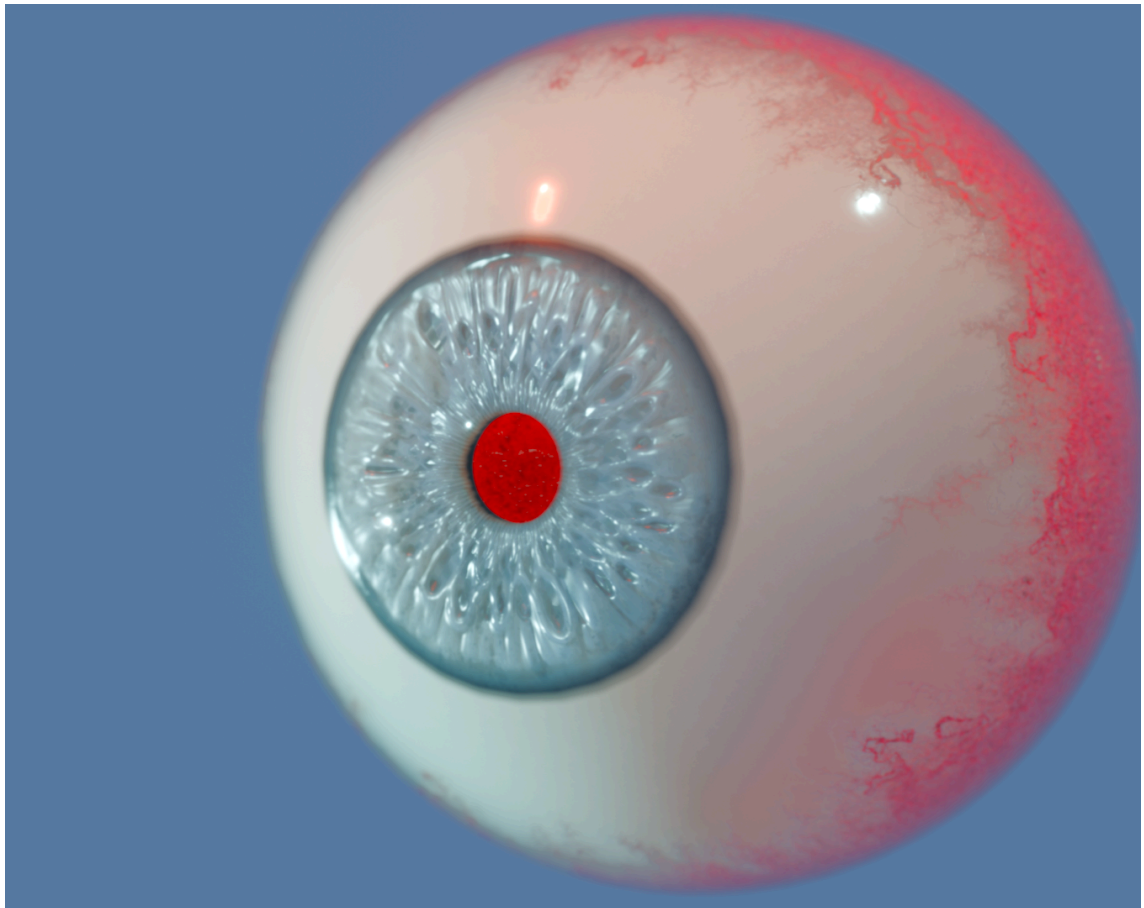
Kuva 12



Kuva 13

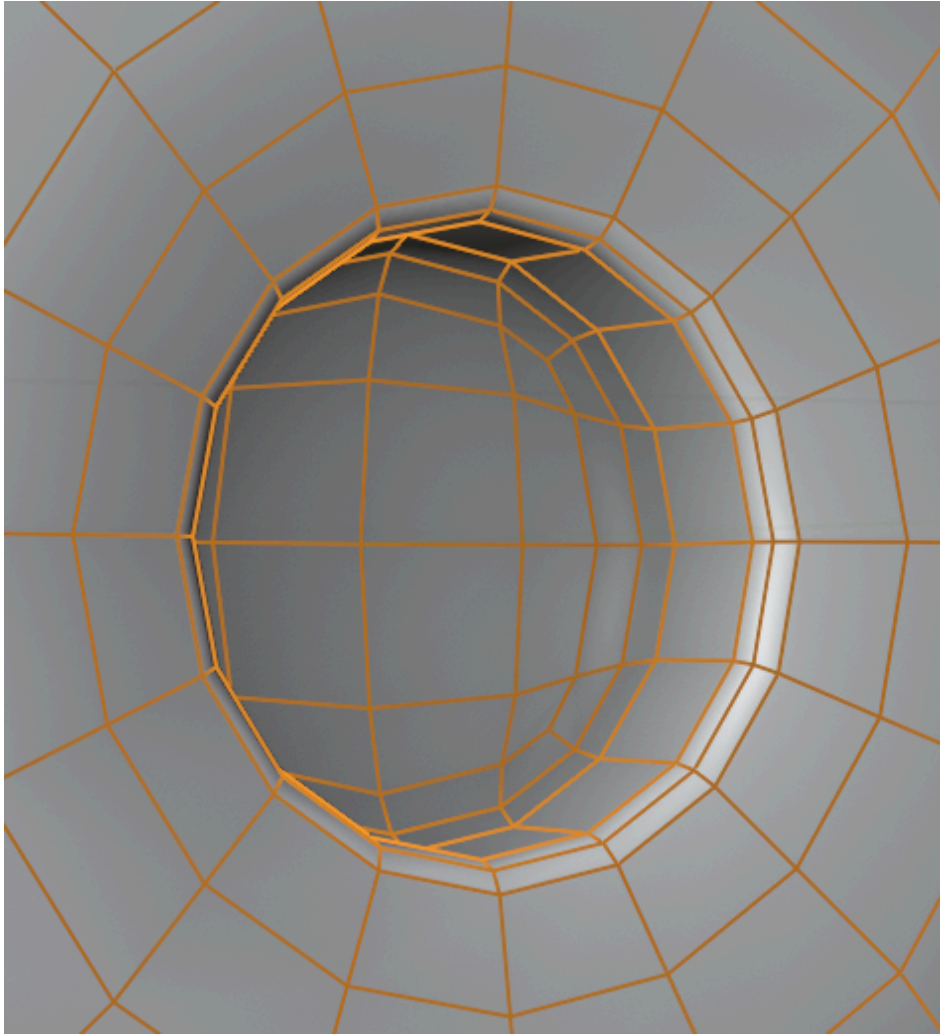
Koska pupilli on reikä, voisi ajatella että 3D-mallin keskellä pitäisi myös luoda reikä. Mutta realismin tavoittelussa projektin kannalta pitää muistaa että teknisesti täysin anatomisesti korrekkit muodot tai materiaalit eivät välttämättä käyttydy renderausvaiheessa juuri niin kuin odottaisi. Etenkin reaaliaikaisessa renderaajassa, anatomisesti korrekki, tai reikänä mallinnettu pupilli usein kerää liikaa valoa, mitä ei tapahtuisi todellisuudessa.

Tämä johtaa siihen että pupilli ei näy täysin mustana, vaan silmän sisäosa paistaa suoraan läpi. Jos silmän takaosa on teksturoitu punaiseksi niin tämä voi johtaa näyttämään punasilmä valoilmioilta, mikä voi olla tarkoituksenmukaista, tai haluttua, mutta useimpiin tilanteisiin presentaation kannalta se ei ole tilanteeseen sopivaa.(kuva 14)



Kuva 14. Esimerkki punasilmä valoilmioistä 3D-silmässä.

Nämä seikat huomioon ottaen on suositeltavaa mallintaa iiris syventymänä iiriksen keskelle, eikä pelkkänä kolona. (kuva 15)

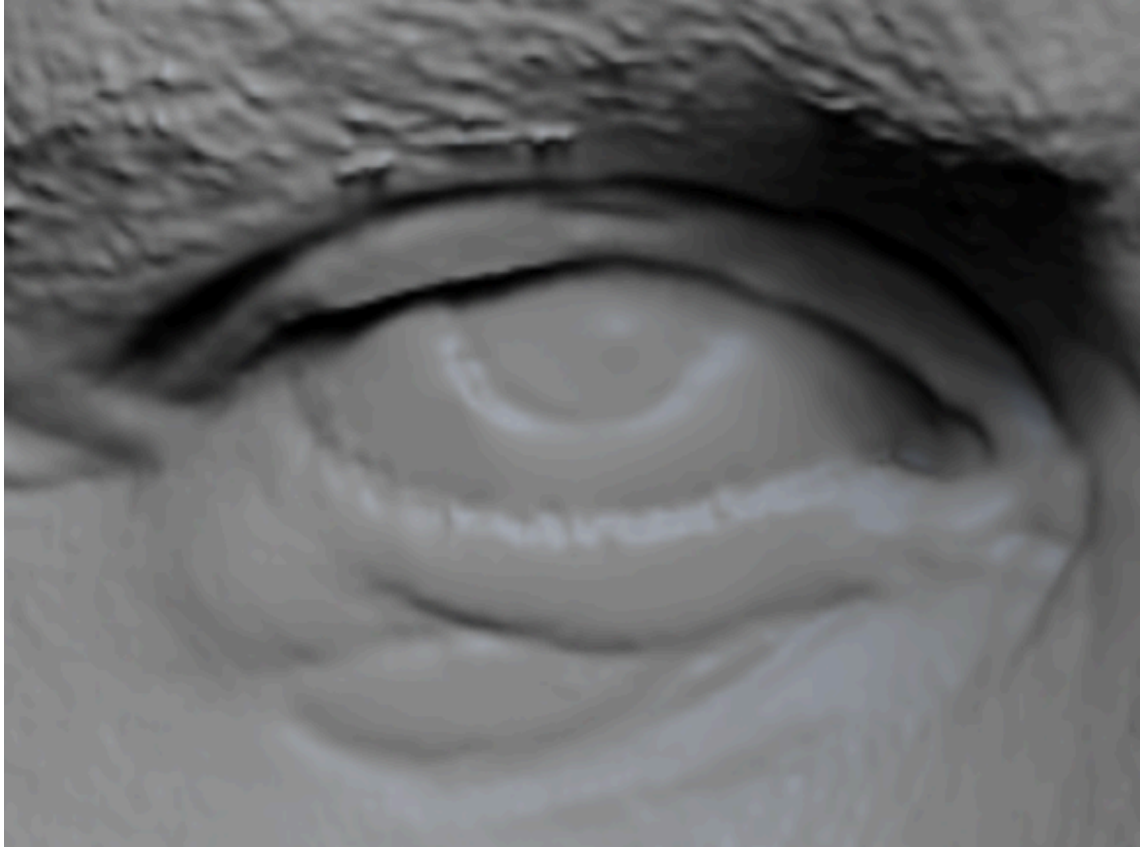


Kuva 15. Syventymä pupillia varten

3.4 High-poly mallin luominen

Koska monimutkaisten yksityiskohtien esittäminen geometrian kautta on koneistolle raskasta suuren polygonimäärän vuoksi ja on parempi hyödyntää silmän yksityiskohtien renderöimiseen normal map, bump map tai displacement map -tekstuuria, joilla yksityiskohtia saadaan esitettyä ilman että renderöintiohjelman sisällä tekstuureilla, ilman että 3D-malli itsestään on polygonimäärältään korkea.

Kun low-poly-malli on luotu, voi objektit siirtää ZBrushiin tai itselle tuttuun 3D-skulptaus-ohjelmaan high-poly -mallin luomista varten. 3D-skulptaus-ohjelman sisällä on tarkoitus lisätä useampia pienempiä yksityiskohtia, joita olisi tyypillisellä mallinnustekniikoilla hankala saavuttaa (kuva 16).



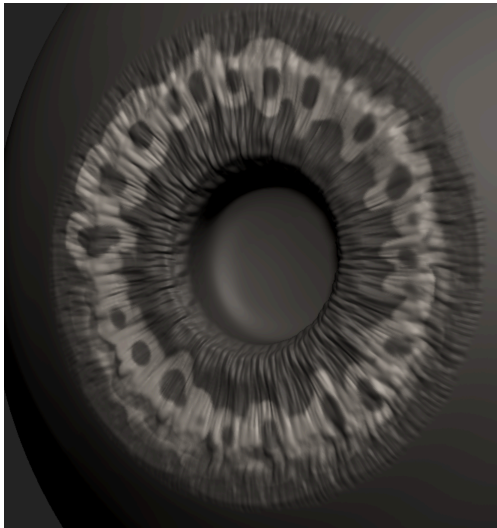
kuva 16. Esimerkki Zbrushissa luodusta silmästä.

Zbrushin sisällä sisällä iiriksen ja pupillin sisäiset yksityiskohdat voi joko kehittää manuaalisesti itse muovaamalla, tai projisoimalla valmis alpha-maski paikoilleen iiriksen tai pupillin nykyisen meshin päälle. (Jermy, 2017.)

Esimerkissä yksityiskohdat luodaan käsin. Iiriksen pinnalla on todella pikkutarkkoja yksityiskohtia joita normaalilta etäisyydeltä huomioi. Tässä kohtaa referenssin käyttö on erittäin tärkeää ja oleellista, sillä iiriksen ja pupillin alue on pienten yksityiskohtiensa kannalta kaikista monimutkaisin alue silmästä.

Yksityiskohtien piirtämisen silmän pinnalle kannattaa aloittaa maskeeraamalla iiriksen alue jotta ei tässä vaiheessa koske sileämpään valkuaisen alueeseen.

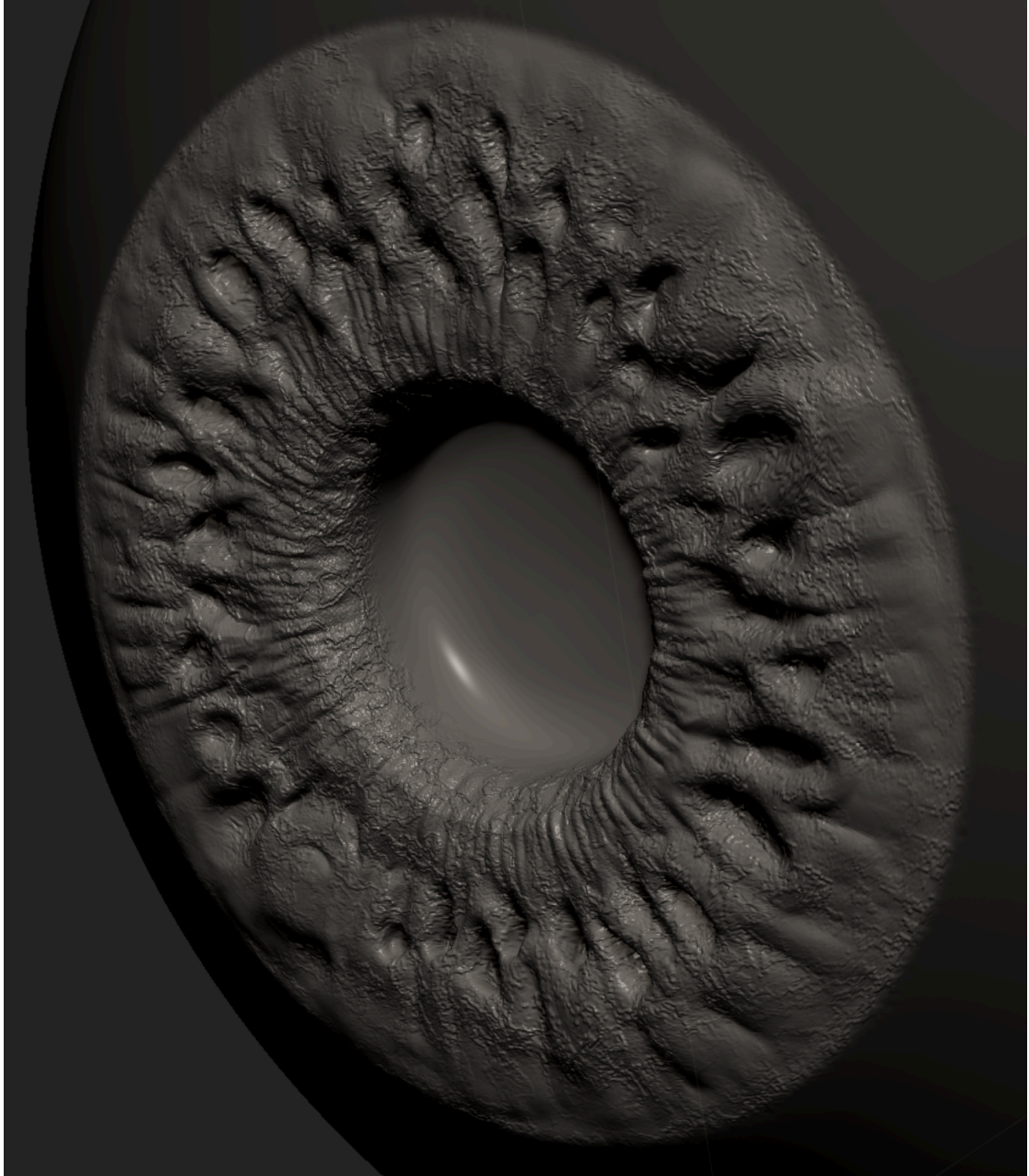
Alkuvaiheessa “radial symmetry” toiminnon käyttäminen on hyvä idea alustavien ja pohjimmaisten muotojen luomisessa. Pitää kuitenkin muistaa rikkoa liian symmetriset piirteet yksityiskohtien luomisessa myöhemmin, sillä iiriksen kudosis on oikeassa silmässä todella epäsymmetrinen. Pupilliin itsessään ei tarvitse tässä vaiheessa kiinnittää huomiota, mutta iiriksen ja pupillin röhkelömäinen raja-alue kannattaa huomioida. Iiriksen verkkomaisen kudoksen isoimmat muodot saa venetettyä meshistä helposti ulos myös käyttämällä maskia, ja tätä kautta vetämällä sitä ulospäin. Samalla iiriksen alustavaa pintaa voi raaputtaa terävämällä brushilla jotta saadaan aikaan pitkiä ja suikalemaisuu muotoja. (kuva 17)



Kuva 17. Maskin käyttö ja alustavat yksityiskohdat Zbrushissa

Yksityiskohtien lisääminen tässä kohtaa on suhteellisen suoraviivaista mutta aikaavievää ja toimii replikoimalla anatomisen referenssin kautta opittuja muotoja niin tarkasti kuin projekti yksityiskohtien määrältä vaatii. Elikkä, jos silmä näytetään erittäin läheltä, niin pikkutarkempien yksityiskohtien näkyvyys muuttuu tärkeämmäksi. Tässä voi hyödyntää täysin manuaalisia keinoja, mutta myös erilaista kohinaa lisäämällä Zbrushin sisällä, mutta tällaiset enemmän pintamuotoiset yksityiskohdat voi luoda hyvin myös teksturointivaiheessa, ja on

enemmän preferenssikysymys. (kuva 18)



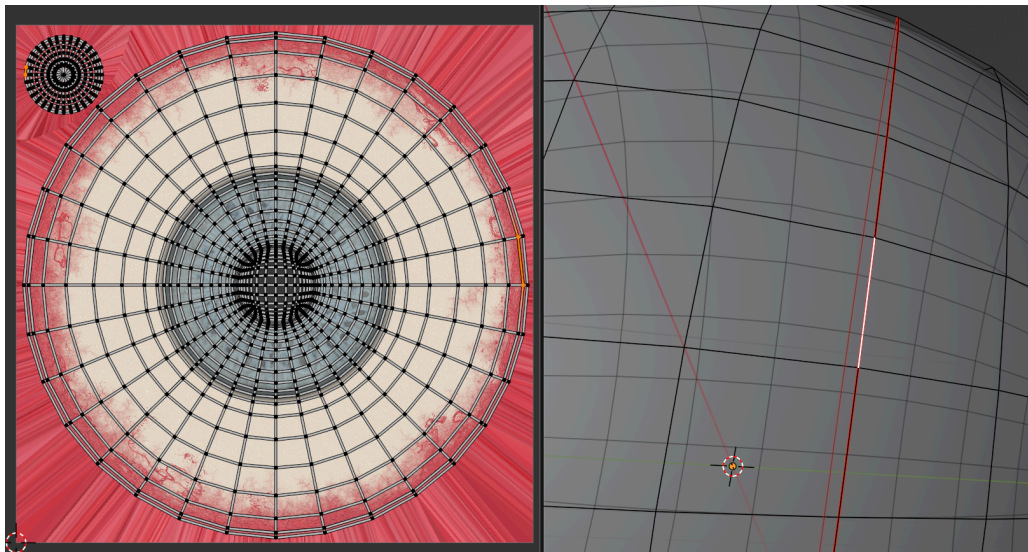
Kuva 18. Pitemmälle viedyt yksityiskohdat Zbrushissa

Kun yksityiskohtien määrä on projektin kannalta halutulla ja tarvittavalla tasolla, voi mallin viedä ulos ohjelmasta OBJ, tai FBX tiedostona beikkausvaihetta odottamaan.

4 UV-kartoitus ja teksturointi

UV-kartoitus luo koordinaatiston jota kautta 2D-tekstuurin voi projisoida 3D-mallin päälle. 3D-mallin vähempi polygonimäärä pitää myös tietokoneen tehonkäytön minimaalisempaan renderöintivaiheessa. Teksturoinnin kannalta myös oleellinen osa on tuoda ulos silmän high-poly mallin yksityiskohdat ilman että itse high-poly mallin geometriaa tarvtee hyödyntää, sillä se ei itse soveltuisi hyvin renderöintiin sen suuren polygoni määrän vuoksi ja on parempi hyödyntää normal map, bump map tai displacement map -tekstuuria, joka nostattaa silmän lopullista yksityiskohtien määrää nostattamatta renderöintiohjelman sisällä olevan 3D-mallin lopullista topologiaa.

Blenderin sisällä, silmän UV-kartoituksessa kannattaa huomioida se että silmän takaosaa ei tulisi oletuksena näkymään ollenkaan silmäkuopasta, joten tekstuurin venyminen, sekä pienempi koko UV-kartalla voi olla täysin hyväksyttävää verrattuna oleellisempaan silmän etuosaan.(kuva 19)



Kuva 19. Esimerkki UV-kartasta, saumoista, sekä tekstuurin asettelusta.

Teksturoinnin työnkulku sujuu yleisesti ensin beikkaamalla normal/displacement map kiinni hyödyntäen high-poly 3D-mallia, ja projisoimalla se nykyisen low-poly 3D-mallin päälle. Tällä tavalla voi nostattaa renderöinti-vaiheessa 3D-mallin yksityiskohtia nostattamatta sen polygonimäärää. Myös kun high-poly -malli on

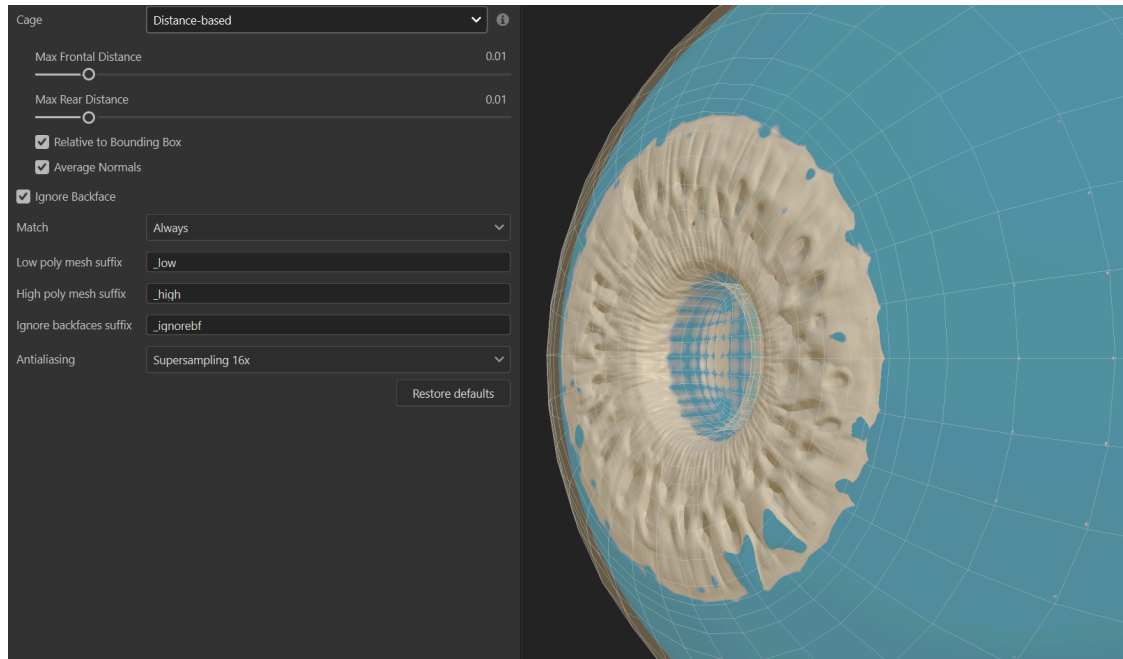
projisoitu low-poly -mallin päälle, voi PBR-työvaiheilla (eng. Physically Based Rendering) jatkaa värien lisäämiseen. PBR-työnkulkuun kuuluu 3D-objektin teksturointitapaan asettuva mahdollisimman fyysisesti täsmällinen teksturointitapa, johon sisältyy materiaalin heijastus, diffuusio, läpikuultavuus, läpinäkyvyys, energian häviämättömyys, metallisuus, fresnel sekä mikropintasirona (Russell, 2019). Näitä yhdistämällä saa 3D-mallin näyttämään esimerkiksi kiiltävältä tai metalliselta.

4.1 Työskenteleminen substance painterissa

Kun lowpoly-malli, sekä highpoly-malli on viimeistelty on aika viedä malli Substance painteriin teksturointia ja normalmapin beikkausta ja teksturointia varten. Mutta ennen siirtämistä teksturointiin on hyvä vielä tarkistaa että mallin UV-kartoitus on kunnossa, eikä mallissa ole väärinpäin siirtyneitä normaaleja. Highpoly mallista siirretyt yksityiskohdat ovat helppo siirtää lowpoly malliin uudestaan jos siihen haluaa jälikäteen tehdä vielä muutoksia, mutta lowpoly-mallin muuttaminen teksturointivaiheen jälkeen on usein haastavampaa.

Mallin tuomisessa ohjelman sisään on tärkeää valita "Normal Map Format" valinnan kohdalla OpenGL, jos haluaa että kartoituksen koordinaatit rendautuvat oikein Blenderin sisällä.

Substance painterin sisällä ensimmäinen vaihe olisi tekstuurisettien luominen mistä oleellisin tässä kohtaa on normalmapin beikkaaminen jolla saadaan aiemmin luodun highpoly-mallin yksityiskohdat projisoitua lowpoly-mallin päälle. Beikkauksen loputtua tulokset eivät ole odotettuja, tai tekstuurissa näkyy artefakteja, niin ongelmat korjautuvat usein muuttamalla ohjelman "distance" säätimiä. (Kuva 20)



Kuva 20. beikkausprosessi.

Itse teksturointivaihetta voi nopeuttaa hyödyntämällä ohjelman valmiita materiaaleja, valitsemalla niistä ne jotka vastaavat omaa haluttua lopputulosta parhaiten ja muokkaamalla niitä. Värien kannalta kannattaa muistaa että silmän valkuainen ei ole täysin valkoinen, vaan hienovaraisesti myös pinkki, punertava ja kellertävä. Pupillin kuuluisi olla materiaailtaan pikimusta ja sellainen että se heijastaisim mahdollisimman vähän valoa, jotta sen saisi näyttämään realistiselta. Silmän takaosa ja sivut kuuluisi olla suhteellisen punertavat tai suoraan punaiset. Valmiilla työkaluilla, tai itse maalaamalla saa myös aikaan uskottavan näköisiä verisuonia,

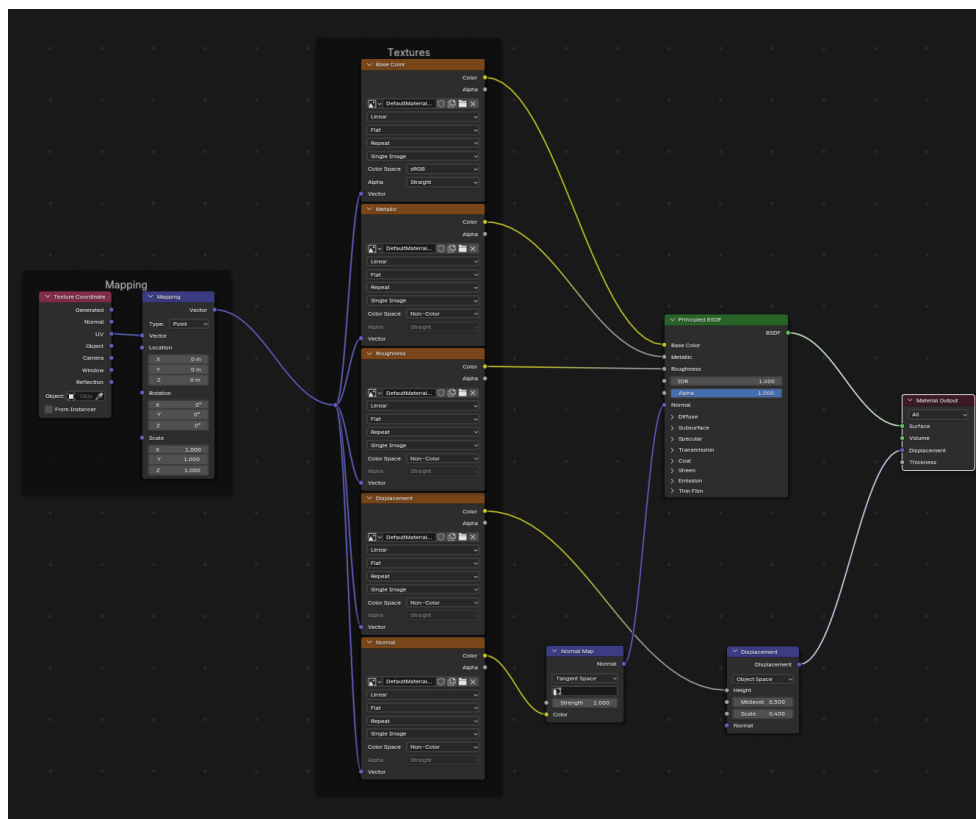
Kun PBR-tekstuuri-setti on valmis, voi sen siirtää haluttuun renderöinti-ohjelmaan. Yleisimmät tiedostomuodot tässä kontekstissa ovat .png tai .tif kuvatiedostoja, mutta on myös mahdollista exportoida esimerkiksi pelimoottori-spesifisiä tiedostoja, jotka nopeuttavat työnkulkua kyseisen pelimoottorin sisällä työskentelyä.

Tekstuuriin tuomisessa ulos tekstuuriasettien kannalta, Blenderin kohdalla toimiva vaihtoehto on ohjelman oletusasetus, eli "Document channels + Normal + AO + (No Alpha)". Värisyvyyden kannalta 8-bittinen kuvanlaatu on useimmissa tilanteissa täysin kelvollinen. Mutta jos haluaa varmasti välttyä

mahdollisilta väriraidoituksilta tai artefakteilta, 16-bittinen syvyys voi olla suositeltava valinta normal mapille, height mapille, roughness/specular mapille jotta mallin pinta ei varmasti kärsi pikselimäisistä tai epätarkoista yksityiskohdista. Albedo mapin kanssa 16-bittisen värisyvyyden valitseminen ei tuo mitään huomattavia eroja, joten sen valitseminen ei ole suositeltavaa. Miksi 16-bittistä värisyvyyttä ei suoraan valita vain jokaiselle tekstuurile johtuu siitä että ne vievät enemmän tilaa ja ovat raskaampia suorituskyvyn kannalta.

5 Materiaalit ja renderöinti, sekä viimeistely

Blenderin sisällä tekstuuri-setti asetetaan 3D-malliin paikoilleen noodipohjaisella -systemillä, missä jokainen PBR tekstuuri-setin osa pistetään yksitellen paikoilleen luoden lopullisen materiaalin 3D-objektiin. (Kuva 21)



Kuva 21. Esimerkki noodipohjaisesta materiaaliasetelmasta.

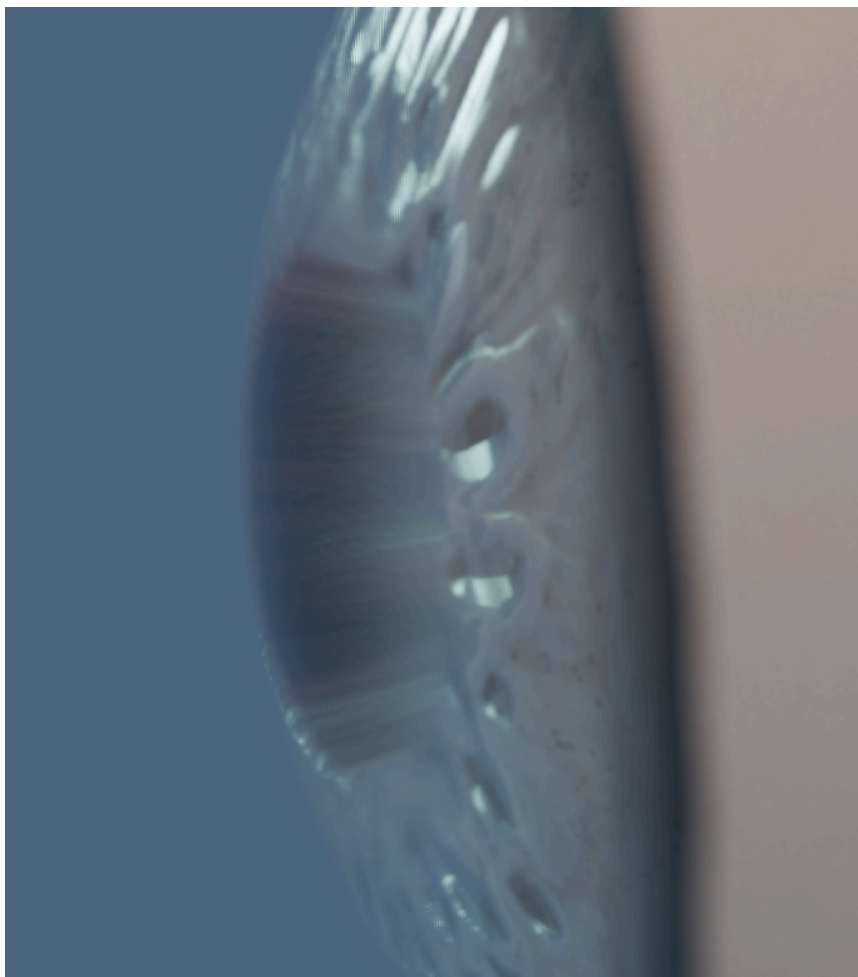
Sarveiskalvo on läpinäkyvä ja lasimainen materiaaliltaan. (Zeiss, 2017)
Jokainen renderöintimoottori käsittelee yleisesti ottaen läpinäkyvyyden eri tavalla renderöinti-moottorien erilaisten shader-systeemien takia. Miten läpikuultavuus saadaan aikaiseksi Blenderissä, pitää käyttää “transmission” asetusta.

Jotta läpinäkyvä efekti toimii Eevee:n sisällä, monta asetusta pitää olla päällä tässä Blenderin versiossa.(4.4.1)

- uusi “raytracing” asetus pitää pistää päälle.
- valita “Raytraced Transmissions” materiaalivalikosta.
- Varmistaa että materiaalin “Roughness” arvo ei ole liian korkea.
- Varmistaa että IOR-arvo ei ole liian korkea.

Sarveiskalvon IOR-arvo on 1.380, m (Pixel and Poly, LLC 2022). Oletus on että pistämällä tämän fyysisesti korrektion arvon sisään, myös materiaali tulisi näyttämään realistisemmalta, tai käyttäytymään samalla tavalla kuin todellisuudessa. Mutta renderöintitavat vaihtelevat sen verran paljon että näihin arvoihin ei voi oikeastaan luottaa. Esimerkiksi Blenderissä fyysisesti korrektion IOR-arvon noudattaminen voi johtaa epätoivottuihin lopputuloksiin kuten iiriksen vääristymiseen liikaa sarveiskalvon alla (kuva 22), joten voi olla suositeltavaa katsoa arvot enemmän silmämääräisesti mutta pysyä edes

jokseenkin lähellä realistisia arvoja jos se on mahdollista.

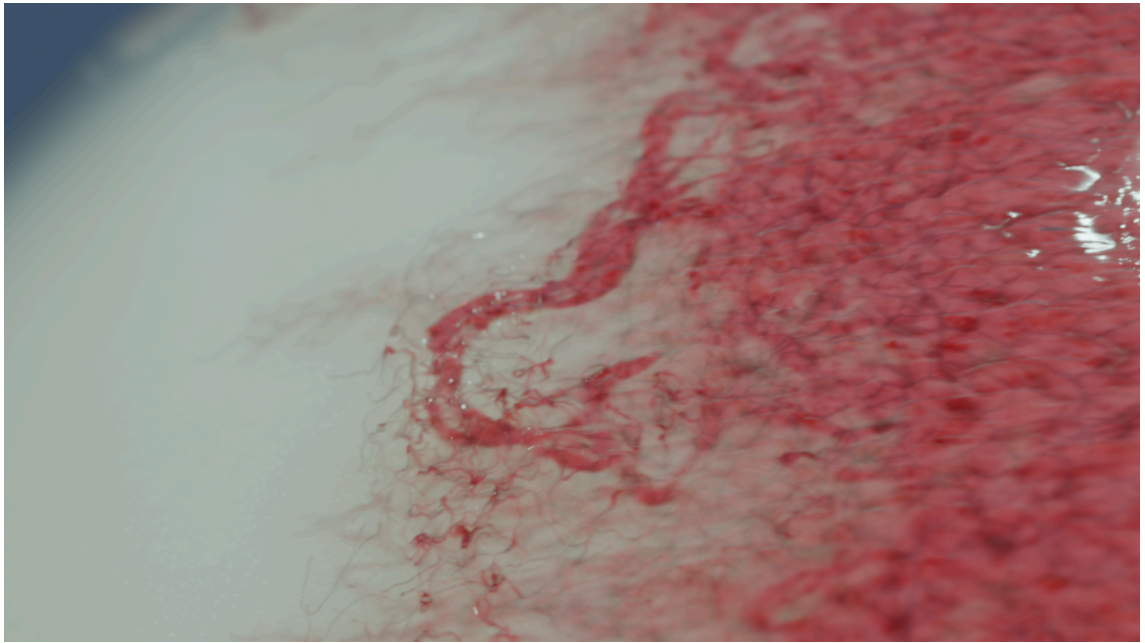


Kuva 22. Esimerkki liikaa vääristyneestä iiriksestä sarveiskalvon alla fyysisesti korkkektilla IOR-arvolla.

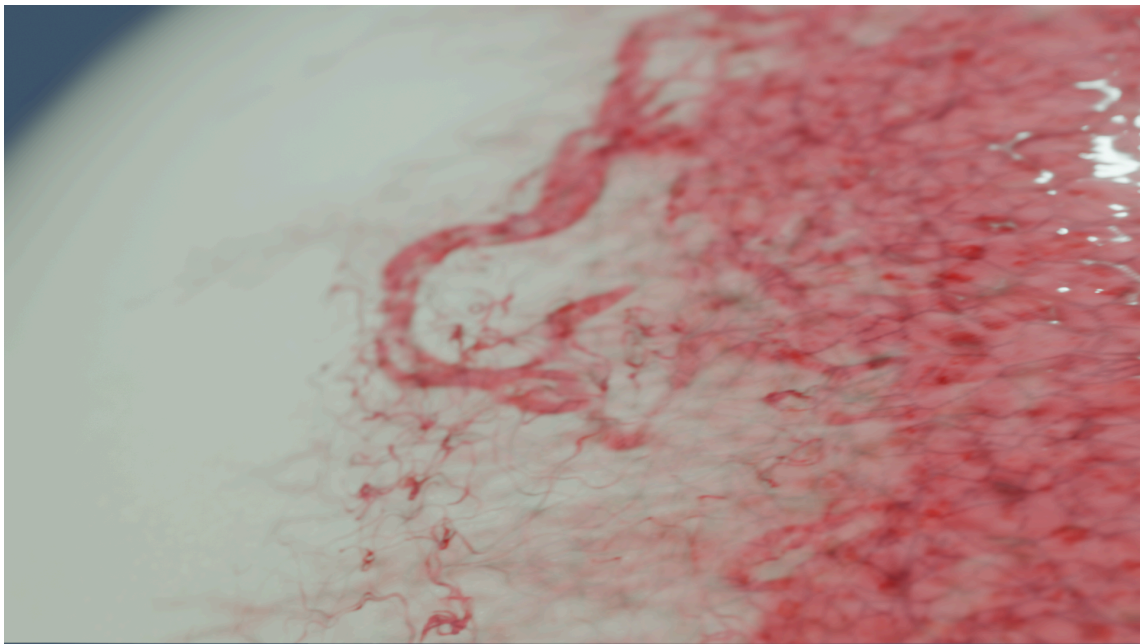
Jos mallia haluaa esitellä todella läheltä, eikä suurempi polygonien määrä ole ongelma, voi tarvittaessa asettaa “displacement map”, tekstuurin malliin. Tämän saa asettamalla teksturointiohjelmasta tuodulla “height map” tekstuurilla.

Käyttämällä Blenderin “Subdivision surface modifier” toimintoa, saadaan efektiä varten tarvittava määrä geometriaa. Muussa tapauksessa 3D-malli vain skaalantuu tasaisesti jokaisesta kohdasta, tai polygonit alkavat näkymään liian selkeästi.

Efekti voi tosin olla tästä huolimatta hienovarainen. Esimerkkinä jos haluaa vaikka selkeämmän pullistuman silmän verisuoniin. (Kuva 23), (kuva 24)



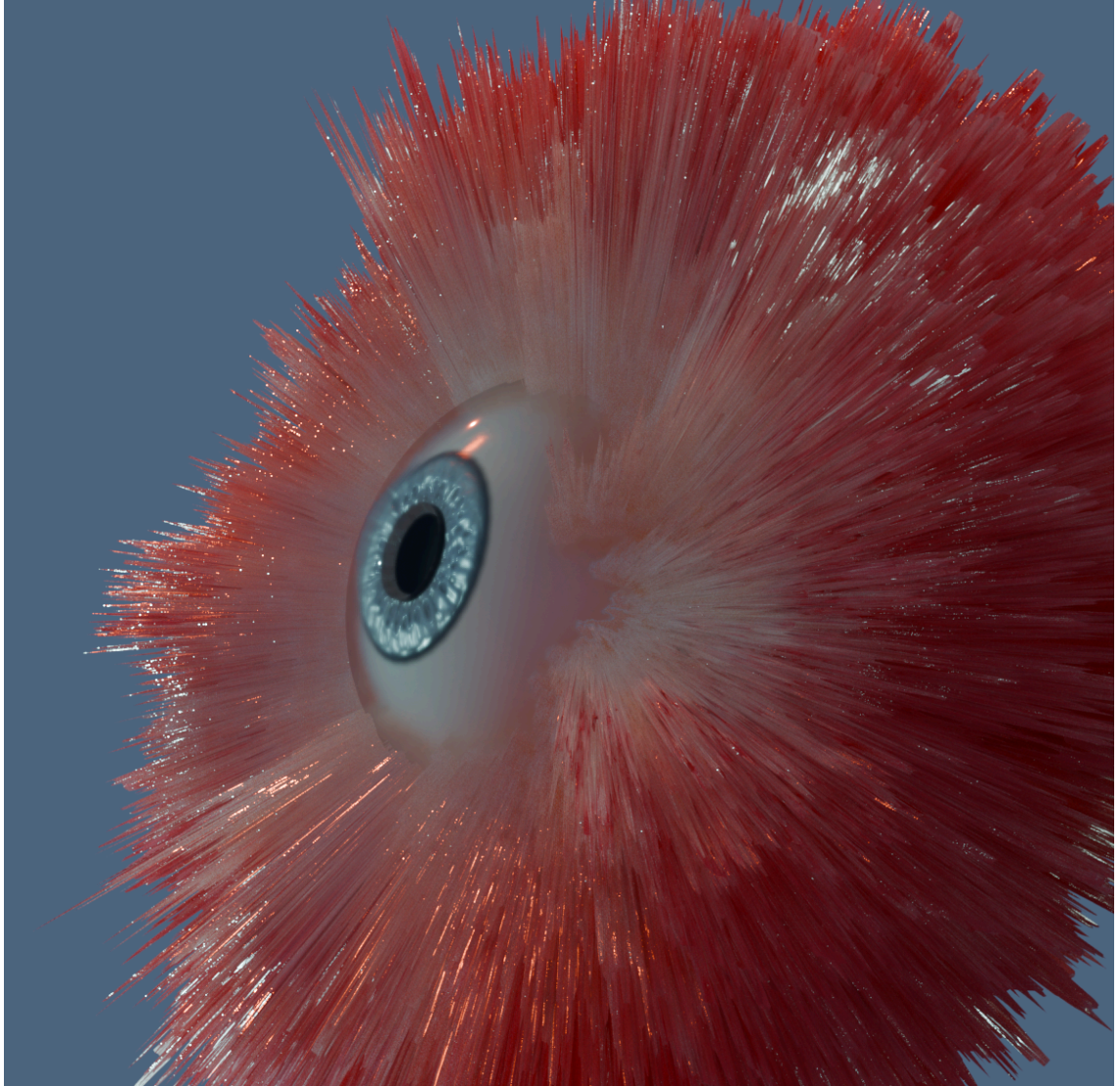
Kuva 23. Silmän verisuonet displacement mapin kanssa.



Kuva 24. Silmän verisuonet ilman displacement mappia.

Kuten vertauksessa näkyy efektin on tuskin näkyvä ilman lähikuvaa, tätä ei kuitenkaan kannata kompensoida kasvattamalla displacement mapin arvoja,

sillä mallin geometria hajoaa nopeasti käsiin. (kuva 25)



Kuva 25. Yliampuva displacement mapin efekti.

Tässä vaiheessa kun silmän jokainen tarvittava tekstuuri on paikallaan, ja materiaalien hienosäädöt itselle mieluisia voi ohjelman sisällä valaista objektin haluamallansa, tai projektin kannalta sopivimmalla tavalla, asettaa virtuaalikamera paikalleen ja rendata ulos projektin lopputulos.

6 Yhteenveto

Realistisen 3D-silmän luomiseen sisältyy isompi työtaakka verrattuna yksinkertaistettuun tai tyylieltyyn versioon. Silmien realismi on yksi vaikeimmista asioista 3D-renderöinnin kannalta saavuttaa ja vaatii paljon kärsivällisyyttä sekä paljon tietoa 3D-mallinnuksesta, anatomiasta, ja materiaaleista jotta sen luontiin kuuluvat tekniikat voi hyödyntää kunnolla.

Silmien mallintamisessa on monia pieniä yksityiskohtia mikä voi jäädä monelta harjaantuneeltakin 3D-mallintajalta huomioimatta jos hän ei ole perehtynyt tarpeeksi aiheeseen, joten aihealueen opiskelu on kaikille suositeltavaa.

Mutta on silti myös tärkeää ajatella ovatko realistisimmat tai fyysisesti korrektit muodot, materiaalit ja erilaiset yksityiskohdat ylipäättänsä oleellisia omassa projektissa.

Lähteet

Epic Games, 2024, shading models in unreal engine

<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/shading-models-in-unreal-engine> (luettu 03.12.2025)

Unity 2023, Eye shader

<https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.render-pipelines.high-definition@14.0/manual/eye-shader.html>

Disney Research Hub 2016

<https://www.youtube.com/watch?v=dLOI2U20FWw> (katsottu 29.03.2025)

Bekerman, Gottlieb, Vaiman 2014

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25431659/>

Jermy, Maya 2017. How to sculpt convincing eyes in Zbrush. Creativebloq.

<https://www.creativebloq.com/how-to/sculpt-convincing-eyes-in-zbrush> (luettu 22.8.2022)

Pluralsight 2014. Techniques for Creating Realistic Eyes for Another Level of Believability.

<https://www.pluralsight.com/blog/film-games/techniques-creating-realistic-eyes-another-level-believability> (luettu 20.8.2022)

Russell, Jeff 2019. Basic Theory of Physically-Based Rendering. Marmoset.

<https://marmoset.co/posts/basic-theory-of-physically-based-rendering/> (luettu 21.8.2022)

Zeiss, 2017. Näkökyvyn ymmärtäminen. Ihmissilmä. Kaikki mitä tarvitsee tietää kehon näkökeskuksen anatomiasta, rakenteesta ja toiminnasta.

<https://www.zeiss.fi/vision-care/parempaa-naekemista/naekoekyvyn-ymmaerta-eminen/ihmissilmae.html> (luettu 21.8.2022)

Variations in eyeball diameters of the healthy adults

Inessa Bekerman, Paul Gottlieb, Michael Vaiman,

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25431659/>

Pixel and Poly, LLC 2022

<https://pixelandpoly.com/ior.html>

Kuvalähteet

Kuva 1

<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/shading-models-in-unreal-engine>

Kuva 2

<https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.render-pipelines.high-definition@14.0/manual/eye-shader.html>

kuva 3

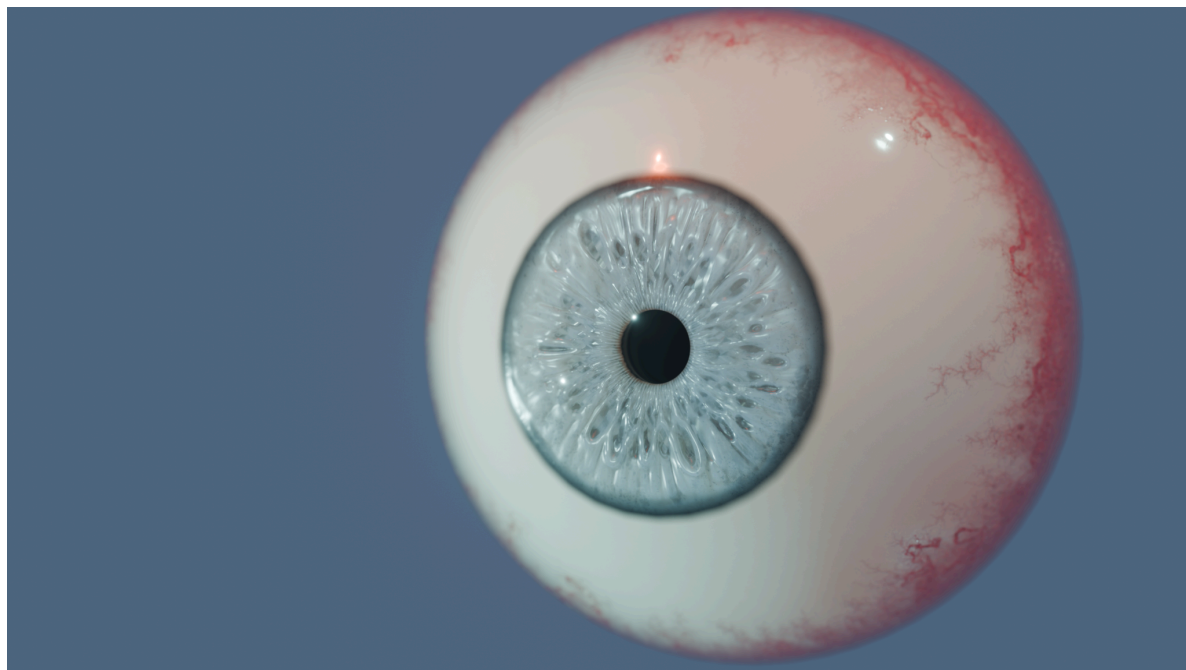
<https://www.youtube.com/watch?v=dLOI2U20FWw>

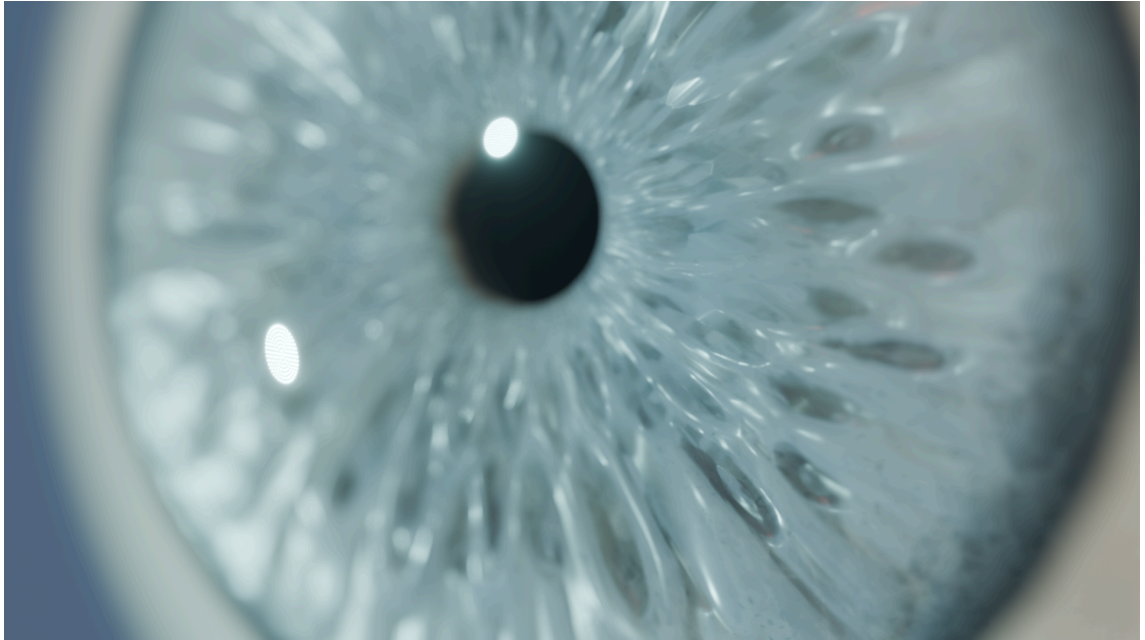
Kuva 4

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_Medical_Animation_Eye_Structure.jpg

Liitteet

Liite 1: Lopullinen silmä



Liite 2: Supistunut pupilli

Liite 3: Videossa esitellään valmis silmä muuttuvassa valaistuksessa, sekä muuttuvan pupillin koon kanssa

<https://youtu.be/zXuzCkFs0g0>

Liite 4: Videossa esitellään valmiin silmän supistuva ja laajeneva pupilli lähikuvassa

<https://youtu.be/DjghSyrUoj4>