

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2024

Petri Korhonen

Museoauton pintamallinnus

- Vanha Ykkönen



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Kesäkuu 2024 | 42 sivua

Petri Korhonen

Museoauton pintamallinnus

- Vanha Ykkönen

Tämän opinnäytetyön ensisijaisena tavoitteena on tehdä pintamallinnus Suomen ensimmäisestä kirjastoautosta, Vanha Ykkösestä. Toissijainen tavoite on oppia teoria pintamallinnuksen taustalla ja syventää teknistä osaamista.

Mallinnustyö tehtiin käyttäen Rhino 8 -pintamallinnusohjelmaa ja pistepilviverkon esikäsittelyyn MeshLab-ohjelmaa. Mallinnustyö jakautui käytettyjen tekniikoiden perusteella kahteen eri osa-alueeseen. Työssä referenssinä käytettyä dataa korin muodoista saatiin laserkeilauksen sekä manuaalisten mittausten kautta.

Työn tulokseksi saatiin pintamallinnus autosta ja tärkein vaatimus eli korin päämuodot pystyttiin mallintamaan vaaditulla tarkkuudella. Työn laajuus pakotti rajaamaan yksityiskohtien määrää, mutta toimeksiantajan edellyttämä taso saavutettiin. Projektin myötä saavutettiin myös teknisestä osaamista sekä teorian ymmärrystä työkalujen ja toimintojen taustalla.

Mallinnustyön tuloksena saatua pintamallia pystytään hyödyntämään eri tavoilla. Entisöintityössä mallista voidaan tarkistaa haluttuja mittoja tai muotoja. Pintamallia voidaan käyttää myös mainosmateriaalin laadinnassa sosiaalisessa mediassa.

Asiasanat:

CAD, mallintaminen, auto

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Automotive and Transportation Engineering

June 2024 | 42 pages

Petri Korhonen

Surface Modelling of a Museum Car

- Vanha Ykkönen

The main objective of this thesis is to make a surface model of the first mobile library "Vanha Ykkönen" in Finland. The secondary objective is to learn the theory behind surface modelling and to deepen the technical knowledge of it.

The modelling was done using Rhino 8 surface modelling software and MeshLab for pre-processing the point clouds. The modelling work was divided into two different parts based on the techniques used. The reference data for the body shapes were obtained through laser scanning and manual measurements.

The result of the work was a surface model of the vehicle and the main requirement, the body shapes, could be modelled with the required accuracy. The scope of the work forced to reduce the amount of details, but the level of details required by the client was achieved. The project also provided technical expertise and an understanding of the theory behind the tools and functions.

The surface model can be used in a few different ways. In restoration work, the model can be used to check the desired dimensions or shapes, for example the widths of the body panels or the bending radii of the panels. The surface model can also be used as promotional material in social media.

Keywords:

CAD, modelling, car

Sisältö

1 Johdanto	7
2 Toimeksianto	9
3 Laserkeilaus	10
4 Käytetyt mallinnustekniikat	12
4.1 SubD-mallinnus	12
4.1.1 Käsitteitä	13
4.2 NURBS	14
5 Auton analysointi	18
5.1 Alkutoimet	18
5.2 Koriin tehtävät mittaustyöt	18
5.3 Laserkeilaus	19
6 Pistepilvitiedostojen esikäsittely	22
7 Mallinnus	24
7.1 Tavoite	24
7.2 Pistepilvien asemointi	24
7.3 Pistepilven tulkinta	25
7.4 Tasot	26
7.5 SubD	27
7.6 Repeytymät pinnassa	31
7.7 Pinnanmuodon jatkuvuus	31
7.8 Pintojen luominen NURBS-tekniikalla	32
7.9 Mallinnusesimerkkejä	33
7.10 Mallintamista tukevat laitteet ja käskyt	38
8 Tulokset	40
9 Lopuksi	41

Liitteet

Liite 1. Valmistuspiirustukset

Kuvat

Kuva 1. Vanha Ykkönen.	7
Kuva 2. Rhino box mode sphere.	13
Kuva 3. Rhino smooth mode sphere.	13
Kuva 4. Käsitteitä.	14
Kuva 5. Kontrollipisteet.	15
Kuva 6. Solmut.	16
Kuva 7. Lisätty solmu.	16
Kuva 8. Auton koordinaatisto.	18
Kuva 9. Auton kylki jaettuna ruutuihin.	19
Kuva 10. Zeiss-käsiskanneri.	20
Kuva 11. Skannaus tietokoneen ruudulla.	20
Kuva 12. Auto kyljen keilaus Artec Eva -käsiskannerilla.	21
Kuva 13. Auton etupään skannaus MeshLab-ohjelmassa.	22
Kuva 14. Algoritmin toimintaperiaate (Mgarland 2024).	23
Kuva 15. <i>Draft angle analysis</i> .	25
Kuva 16. Tasot.	27
Kuva 17. SubD-pinnan taivutus korin muotoon.	28
Kuva 18. Kolmen sääntö.	28
Kuva 19. Pisteiden "neulominen" yhteen.	29
Kuva 20. <i>Boxmode</i> ja solujen sijoittelu.	30
Kuva 21. SubD-pintojen yhdistäminen.	30
Kuva 22. Zebra-työkalu.	32
Kuva 23. Osien irrotus mallista.	34

Kuva 24. Vanteen pistepilvipinnan leikkaava taso.	35
Kuva 25. Kattolistat.	37
Kuva 26. Niittien heijastaminen kaarevaan pintaan.	38
Kuva 27. Kori ja runkopuut.	40

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena tehdä kirjastoauto ”Vanhan Ykkösen” entisöintityötä tukeva CAD-pintamalli (Kuva 1). Työn on yllettävä tarkkuutensa osalta sellaiselle tasolle, että sen perusteella on mahdollista valmistaa uusia korinosia entisöintityön aikana. Toisaalta mallin ulkonäön on vastattava mahdollisimman hyvin alkuperäistä auton ilmettä, jotta sitä voitaisiin käyttää projektin esittelyssä ja esimerkiksi sosiaalisen median julkaisuissa.



Kuva 1. Vanha Ykkönen (Myllymäki 2022).

Mallinnus on tarkoitus tehdä pintamallina eli yksityiskohtia lukuun ottamatta pinnoilla ei ole paksuutta ollenkaan, tarvittaessa tämä ominaisuus on helposti lisättävissä toimeksiantajan niin halutessa. Mallinnusprosessin edetessä on tavoitteena omaksua riittävät taidot kyseisen työn tekemiseen.

Pintamallinnuksen ja mallinnustekniikoiden teoriaan tutustuminen tukee edellä mainittuja tavoitteita. Työssä keskityttiin ainoastaan korin ulkokuoreen, sillä työn laajuuden takia sisäpuoli oli rajattava kokonaan pois.

Työ toteutetaan korista tehtyjä laserkeilauksia referenssinä käyttäen.

Keilauksesta saadut pistepilviverkot toimivat tavoitepintoina mallinnukselle pois lukien kohdat, joissa pinnanmuotoa on korjattava vastaamaan auton alkuperäistä muotoa. Työ tehdään käyttäen Rhino 8 -pintamallinnusohjelmaa sekä MeshLab-pistepilven esikäsittelyohjelmaa.

Työ nousi ajankohtaiseksi, sillä se on tehtävä ennen auton purkamista ja varsinaisen entisöintityön aloittamista. Korille tehdyt laserkeilaukset on luonnollisesti tehtävä ennen kuin korin purkaminen on mahdollista aloittaa. Kaikki mahdollinen tieto korista on taltioitava, kun se on vielä mahdollista. Laserkeilaukset eivät kattaneet koko koria, joten pintamalli on ainut tapa saada korin muoto kokonaisuudessaan talteen. Vaikka valokuvia korista on otettu todella kattavasti, niin niistä on mahdotonta päätellä kovinkaan tarkasti koripintojen muotoja.

2 Mallinnettava auto ja toimeksianto

”Vanha Ykkönen” on Suomen ensimmäinen kirjastoauto, ja aktiivipalveluksessa se toimi vuosina 1961–1975. Auton alustana käytettiin Ford Thames Traderia ja sen päälle rakennettiin kirjastoauton kori Nummelan koritehtaalla Turussa Piispanristillä. (Maines 2007.) Aktiivipalveluksensa jälkeen auto on ollut erilaisissa yksityisomistuksissa. Monien vaiheiden jälkeen auto oli päätynyt Karstulaan Västringin kylään, jossa se on toiminut kalamajana pellon laidassa löytymiseensä asti.

Auton kunto oli vuosien saatossa heikentynyt huomattavasti ja esimerkiksi auton päällirakenteissa oleva puinen runko oli osittain lahonnut. Myös siihen kiinnitetyt pintapellit olivat osittain irti ja koriin oli käyttötarkoituksen muuttuessa tehty erilaisia pienehköjä lisäyksiä ja muutostöitä. Auto on ainutlaatuisuutensa vuoksi päätetty entisöidä, ja vuonna 2001 Turun kaupunginkirjasto hankki sen itselleen. Autoa säilytetään Turun kaupunginkirjaston tiloissa, kunnes on aika aloittaa varsinainen entisöintityö.

Tämä mallinnus toimii monessa eri tehtävässä, kuten mainosmateriaalina, apuna rahoituksen keräämisessä ja mallina uusien korvaavien osien valmistuksessa. Esimerkiksi läpileikkauksella korista saadaan profiili uusille puusta valmistettaville runkokoolauksille. Toimeksianto onkin tehdä mahdollisimman hyvin Vanhan Ykkösen entisöintiä sekä projektin markkinointia ja tiedottamista palveleva malli.

3 Laserkeilaus

3D-skanneri on laitteisto, jolla mitataan olemassa olevaa kohdetta tai ympäristöä. Mittauksessa havaittuja pisteitä voidaan tarvittaessa muokata ja sen jälkeen muodostaa kolmiulotteinen malli. Laserkeilaimet ovat mahdollista jakaa toimintaperiaatteensa mukaan kahteen pääkategoriaan: kosketukseen ja ei-kosketukseen perustuviin keilaimiin. (Peda 2024.) Tässä työssä keskitytään skannattavan pinnan laajuuden takia ainoastaan ei-kosketukseen perustuviin skannereihin.

Skannauksessa eli laserkeilauksessa lähetetään miljoonia laserimpulsseja sekunnissa kohdepintaan. Kun nämä impulssit kimpoavat pinnasta takaisin skannerin mittaussensoriin, niiden kulkeman ajan perusteella saadaan laskettua etäisyys laitteen ja kohdepinnan välillä sekä kohdepisteiden keskinäinen etäisyys. Saatujen etäisyyshavaintojen sarjasta laite pystyy muodostamaan kolmiulotteisen pistepilven, josta englanninkielisissä mallinnusohjelmissa käytetään nimitystä *Mesh*.

Aikaan perustuva mittaustapa on vain yksi mahdollinen toimintaperiaate. Muita ovat esimerkiksi signaalin muutokseen ja heijastuskulmaan perustuvat laskentatavat. Keilauksessa saatava data ei rajoitu pelkkään geometriatietoon, vaan se voi sisältää myös tietoja kohdepinnasta, kuten sen värin. (Tietoa 2024.)

Laserkeilain valitaan käyttötarpeen mukaan. Määrittävinä tekijöinä voidaan pitää etäisyyttä kohteeseen ja vaadittua mittatarkkuutta. Luonnollisesti mitä lähempänä skannattava kohde on, sitä suurempaan tarkkuuteen päästään. Tässä työssä käytetyt skannerit kuuluvat teollisuuskeilaimien kategoriaan. Näillä laitteilla päästään alle 1 mm:n mittatarkkuuteen mittausetäisyyden ollessa korkeintaan muutamia kymmeniä metrejä. Muita mahdollisia tyyppejä ovat kaukokartoitukseen käytettävät keilaimet, joita voidaan käyttää esimerkiksi lentokoneista käsin. Niissä mittausetäisyys voi olla jopa 100 kilometriä alle 100 millimetrin tarkkuudella.

Ajoneuvoihin asennettavissa keilaimissa suurin mittausetäisyys on noin 300 m ja tarkkuuden ollessa alle 100 mm. Lisäksi on olemassa maalaserkeilaimia, joissa mittausetäisyys on vastaavalla tasolla kuin ajoneuvoihin asennettavissa keilaimissa, tarkkuuden ollessa alle 20 mm. Ero maakeilaimien ja ajoneuvoihin kytkettävien laitteiden mittatarkkuudessa selittyy sillä, että maakeilaimet ovat aina jalustalla paikallaan. (Kasurinen 2016.)

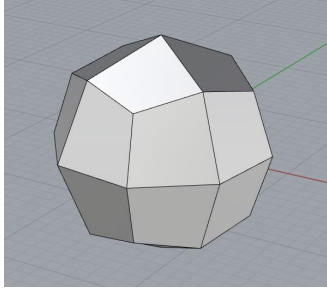
4 Käytetyt mallinnustekniikat

Tässä työssä käytettiin kahta eri mallinnustekniikkaa, ensin SubD-mallinnusta suurten pintojen luomiseen ja sen jälkeen SubD-pinnat muutettiin NURBS-pinnoiksi ja keskityttiin yksityiskohtien luomiseen. Molemmissa tekniikoissa on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Seuraavissa luvuissa niiden ominaisuuksista kerrotaan enemmän sekä teorian että mallinnusesimerkkien muodossa.

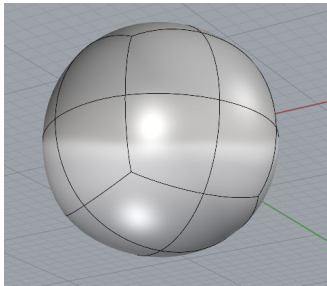
4.1 SubD-mallinnus

SubD- eli *SubDivision*-mallinnuksella saadaan helposti luotua orgaanista pintaa. Tämän mallinnustavan periaatteena on jakaa mallin pinnat pienempiin osiin, ja näin saavutetaan sama pinnanmuoto vähemmällä määrällä geometriaa. Yleisin tapa jakaa pinta on pilkkoa se nelisivuisiin osiin. Tähän muutostyöhön käytetyistä algoritmeista yleisin on Catmull-Clark-algoritmi (Elo 2010.) On kehitetty myös kolmioihin perustuva jakotapa, jota kutsutaan *Loop SubDivisioniksi*.

Kuvassa 2 näkyy pallo, joka on yksi Rhinon primitiiveistä eli perusmuodoista esitettynä *Boxmode:ssa*. *Boxmode:ssa* eli laatikkomallissa pinta on jakautunut 24 tahkoon. Kuvassa 3 sama pallo esitetään *Smooth Mode* -tilassa, jossa tahkot ovat yhdistyneet tangentialisesti ja pallo näyttää täysin pyöreältä. Vaihtelu näiden kahden näkymän välillä onnistuu helpoiten Tab-näppäintä painamalla. Vuorottelu näiden tilojen välillä on SubD-ominaisuus eli sen käyttö loppuu kun siirrytään SubD:stä NURBS:in



Kuva 2. *Rhino Box Mode Sphere.*



Kuva 3. *Rhino Smooth Mode Sphere.*

Catmull-Clarke-algoritmi toimii myös muilla kuin nelisivuisilla tahkoilla, mutta muodon jatkuvuudessa saatetaan kohdata haasteita. Tyypillisesti kolmesivuinen tahko voisi olla esimerkiksi pyöristetyssä kulmassa. Mallintaessa näitä ”ei toivottuja” tahkoja pyritäänkin piilottamaan esimerkiksi kohtaan, jossa on muutenkin jyrkkä muodonmuutos. Toisaalta myös täysin tasainen kohta ehkäisee pinnan epätoivotun käyttäytymisen. SubD-pinta voidaan muodostaa erilaisista valmiista perusmuodoista tai piirtämällä viivoja ja valitsemalla niihin *Make SubD Friendly* -ominaisuus. Tämän ominaisuuden ansiosta viivoista voidaan sen jälkeen tehdä pintoja tai kolmiulotteisia muotoja, jotka muodostavat SubD-pinnan.

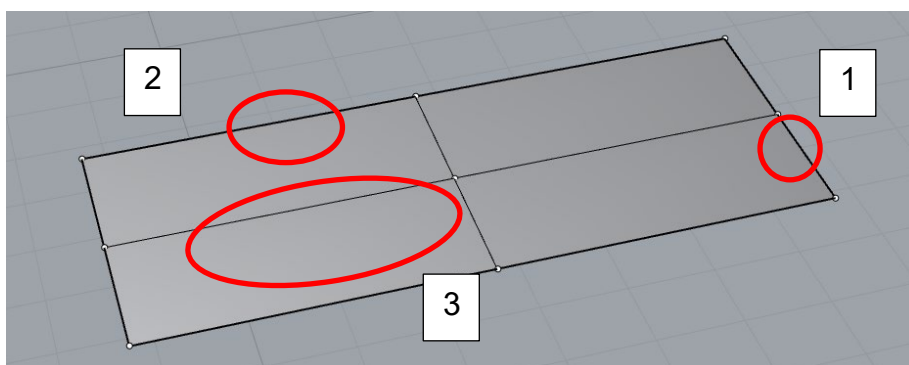
4.1.1 Käsitteitä

Kuvassa 4 on esitettyä yksi SubD-taso, siinä näkyvät numerot vastaavat alla esiteltyjä tason muodostavia osia. Taso jakautuu automaattisesti neljäksi eri

tahkoksi, jotta sen pinta olisi muokattavissa tarkemmin. Taso voidaan haluttaessa rakentaa uudelleen niin moneen eri osaan, kun on tarvetta.

SubD-taso koostuu seuraavista osista:

- 1) Piste, jossa tason reunat kohtaavat, eli tason kulmapiste (*Vertex*). Näissä pisteissä sijaitsevat myös tason kontrollipisteet, joita käsittelemällä pintaa muokataan.
 - 2) Reuna, eli kulmapisteet yhdistävä tason reuna. Kyseessä ei välttämättä ole ulkoreuna, vaan se voi olla myös kahden tahkon välinen raja (*Edge*).
 - 3) Taso tai tahko, eli pinta, joka muodostuu reunojen sisälle (*Polygon*).
- (Holden 2011.)



Kuva 4. Käsitteitä.

SubD-mallinnus voidaan aloittaa käyttämällä valmiita primitiivejä, kuten sylintereitä, laatikoita tai kartioita. Tässä työssä tehtiin pintamallinnusta, joten aluksi ei käytetty kolmiulotteisia primitiivejä. Työ aloitettiin piirtämällä tasoja, joita venyttämällä ja lisäämällä halutun muotoinen pinta saatiin luotua.

4.2 NURBS

NURBS muodostuu sanoista: *Non-Uniform Rational Basis Spline*. Se on kolmiulotteisen mallin matemaattinen esitystapa, jolla pystytään kuvaamaan erilaisia kohteita aina yksinkertaisista viivoista monimutkaisiin pintoihin ja kiinteisiin kappaleihin asti.

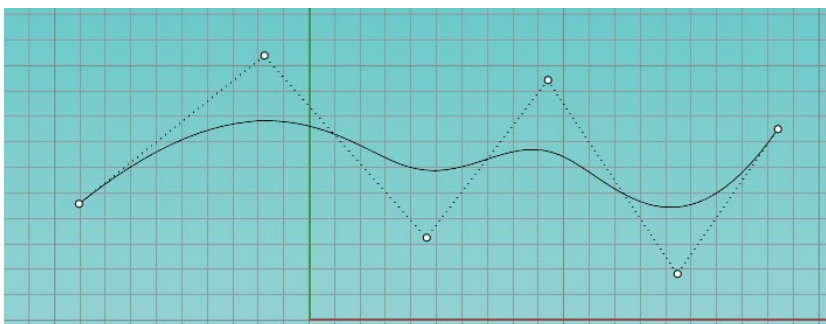
Robert McNeelin (2024) mukaan NURBS-geometria määritetään neljällä eri ominaisuudella seuraavasti:

Geometrian aste

Geometrian aste kertoo viivan tai pinnan monimutkaisuudesta. Suoran viivan aste on 1, kun taas paljon mutkittelevan viivan asteluku voi olla välillä 3–5. Asteluvun muuttaminen ylöspäin mahdollistaa siis monimutkaisemman muodon, joka seuraa tarkemmin kontrollipisteitä ja astetta vähentämällä menetetään muotoa. Sama periaate koskee niin viivoja kuin pintojakin. Astelukuun voidaan vaikuttaa pintaa luodessa, mutta myös myöhemminkin erillisillä komennoilla.

Kontrollipisteet

Kontrollipisteillä määritetään viivan tai pinnan muoto (Kuva 5). Vastaavasti niitä siirtelemällä voidaan muokata muotoa halutunlaiseksi. Pisteillä voi olla erilaisia painoarvoja. Painoarvo määrittää sen, kuinka vahvasti piste vetää pintaa tai viivaa puoleensa. Painoarvot ovat yleensä positiivisia lukuja. Jos kaikkien viivan tai pinnan lukujen arvo on sama, niin viiva tai pinta on irratiionalinen. Vastaavasti jos kaikkien pisteiden painoarvo ei olekaan sama, kyseessä on ratiionalinen viiva tai pinta.



Kuva 5. Kontrollipisteet.

Solmut

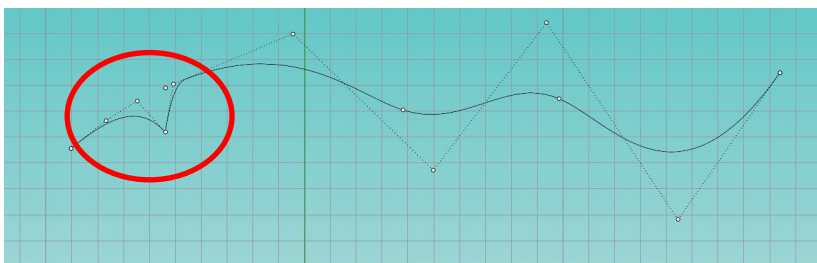
Solmuilla voidaan vaikuttaa pinnan tai viivan muodon jatkuvuuteen. Käyrän viivan solmujen lukumäärä tulee kaavasta viivan asteluku + kontrollipisteiden määrä - 1. On olemassa yksittäisiä solmuja ja pisteitä, joissa on useampi solmu. Esimerkiksi viiva, jonka asteluku on 3 ja siinä on 6 kontrollipistettä: Viivan alkupäässä on 3 solmua, välillä 2 ja lopussa taas 3 solmua, kaavan mukaisesti siis kahdeksan yhteensä.

Kuvassa 6 on nähtävissä viivan solmujen paikat. Normaalisti solmut eivät ole näkyvissä ja kuvassa niihin onkin lisätty pisteet *Object Snap*:iä hyväksi käyttäen. Kuvasta näkee myös, että solmut ovat aina kaarella tai pinnalla toisin kuin kontrollipisteet.



Kuva 6. Solmut.

Kun viivalle lisätään ylimääräinen solmu ja kontrollipistettä siirretään, niin viivan tangentiaalisista kaarista koostuva muoto katkeaa. Moninkertainen solmu muualla kuin viivan alku- ja loppupäässä mahdollistaa siis terävän kulman (Kuva 7). Solmuja voidaan lisätä ja poistaa tarvittaessa muodon luomisen jälkeenkin.



Kuva 7. Lisätty solmu.

Solmujen ja kontrollipisteiden välinen suhde vaihtelee viivan tai pinnan asteluvun mukaan. Kaava sen laskemiseen on $\text{asteluku} + N - 1$. Otetaan esimerkiksi suora viiva, jonka asteluku on yksi. Tästä seuraa, että kontrollipisteet ovat ainoastaan viivan päädyissä eli $1 + 2 - 1 = 2$. Solmuja ja kontrollipisteitä on siis sama määrä 2. Asteluvun kasvaessa solmuilla alkaa olla yhteisiä kontrollipisteitä. Esimerkiksi asteluvun ollessa 3 ja jos viivalla olisi 10 kontrollipistettä niin solmujen määräksi tulee $3 + 10 - 1 = 12$, eli 12 solmua ja 10 kontrollipistettä.

Evaluointisääntö

Evaluointisääntö määrittää viivan parametrien, kuten asteluvun, solmujen ja kontrollipisteiden lukumäärän, sekä perus-splinin avulla viivan pisteiden paikan.

5 Auton analysointi

Korista saatiin tietoa kahdella eri analysointitavalla. Aluksi koriin tehtiin mekaanisia mittauksia rullamitalla ja viivoittimilla. Seuraavaksi haastavimpia pintoja kartoitettiin laserkeilaamalla.

5.1 Alkutoimet

Ennen mitta- ja skannaustyön aloittamista auton ympärille luotiin koordinaatisto (Kuva 8) ja auto nostettiin autopukkien varaan suoraan asentoon lattiaan nähden. Tällä varmistettiin se, että mallinnustyötä aloittaessa laserkeilauksesta saatava pistepilvi pystyttiin asemoimaan samalla tavalla mallinnusohjelman koordinaatistoon ja auton kori saatiin todellisuutta vastaavaan asentoon.



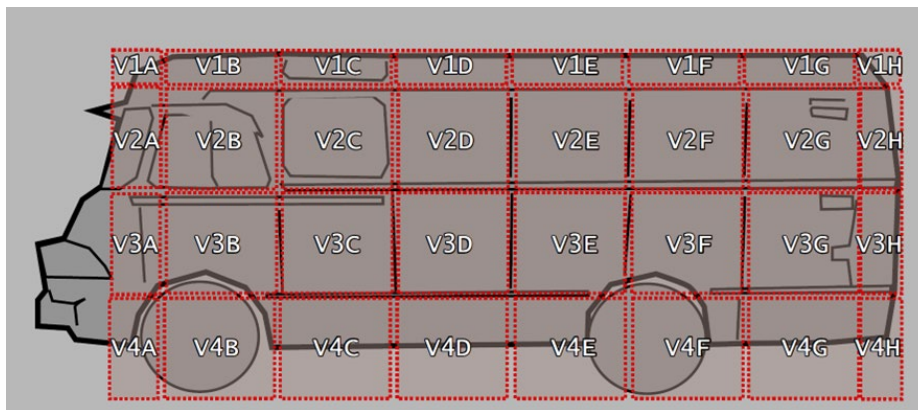
Kuva 8. Auton koordinaatisto.

5.2 Koriin tehtävät mittaustyöt

Mittaustyöstä vastasi Turun ammattikorkeakoulun opiskelijaryhmä. He suorittivat mittaukset osana projektipaja-opintojaksoa, jossa opiskelijat

tutustuvat työelämälähtöisiin toimeksiantoihin. Projektipaja-mittaustyön tuloksista raportoitiin työn toimeksiantajalle erillisessä esittelytilaisuudessa syksyllä 2023. Mittaustuloksista koostettiin esitysmateriaalia palvelemaan opintojakson loppuesitystä.

Ryhmä suoritti mittauksia lähinnä auton tasaisiin pintoihin, eli sivuseiniin sekä muutamiin pisteisiin. Manuaalinen korin mittaaminen suhteessa luotuun koordinaatistoon tehtiin ristilaseria ja rullamittaa apuna käyttäen. Auto jaettiin kuvassa 9 nähtäviin ruutuihin ennen mittaustyön aloittamista. Tämä selkeytti mittaustulosten tulkintaa.



Kuva 9. Auton kylki jaettuna ruutuihin.

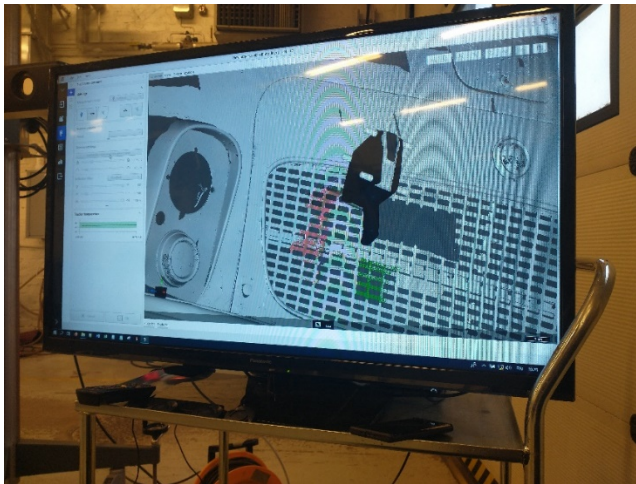
5.3 Laserkeilaus

Auton haastavimmat muodot eli etuosa ja perä laserkeilattiin, sillä näissä useaan suuntaan kaareutuva pinta olisi ollut aika lailla mahdotonta mitata käsin. Työssä käytettiin Zeiss T-Scan -käsiskanneria (Kuva 10). Sen keskimääräinen mittatarkkuus on 0,075 mm, ja yhdellä pyyhkäisyllä pystytään kattamaan noin 125 mm leveä kaistale.



Kuva 10. Zeiss-käsiskanneri.

Kuvassa 11 on laserkeilattu alue nähtävissä tietokoneen ruudulla. Näkymä päivittyy reaaliajassa, jolloin voidaan varmistua pyyhkäisyjen riittävästä päällekkäisyydestä. Näkymä helpottaa myös mahdollisten katvealueiden havaitsemista.



Kuva 11. Skannaus tietokoneen ruudulla.

Mallinnustyön edettyä pidemmälle todettiin, että keilauksia oli tehtävä enemmänkin. Auton katolla olevat yksityiskohdat, kuten kattoikkunat, auton vanteet ja irrallaan ollut takaovi oli keilattava, jotta saatiin tarvittava informaatio niiden mallintamista varten. Lisäkeilauksissa paikattiin puutteita edellisestä skannauskerrasta tai haluttiin saada parempilaatuista pistepilveä yksityiskohdista. Näissä skannauksissa käytettiin Artec Eva -käsiskanneria,

jonka keskimääräinen mittatarkkuus on 0,1 mm ja yhden pyyhkäisyn leveys käyttöetäisyyden mukaan vaihdellen 148–371 mm (Kuva 12).



Kuva 12. Auto kyljen keilaus Artec Eva -käsiskannerilla.

6 Pistepilvitiedostojen esikäsittely

Hyvin nopeasti mallinnusta alettaessa nousi ongelmaksi pistepilvitiedostojen suuri koko. Pelkästään auton etupäästä saatu pistepilvitiedosto oli ennen esikäsittelyä 40 Gigatavun kokoinen ja sen jälkeen vielä 1 Gigatavun kokoinen.

Tämä pistepilvitiedosto sisälsi vielä pienennyksen jälkeenkin 16,7 miljoonaa *Vertexiä* eli kahden tai useamman reunan kohtaamispistettä, ja oli näin ollen vielä liian raskas käsiteltäväksi. Mallinnus vaatii jatkuvaa kohteen pyörittelyä, eli työn sujuvuuden kannalta liike ei voi olla nykivää.

Pistepilvitiedoston kokoa oli pienennettävä entisestään, ja tähän tehtävään valittiin MeshLab-ohjelmisto. Kuvassa 13 nähdään korin etupään pistepilvitiedosto MeshLab-ohjelmassa ennen esikäsittelyä. Tiedostokokoa saatiin pienennettyä *Vertexejä* karsimalla entisestään ja samalla poistettiin epätoivottua dataa, kuten selkeästi korista irti roikkuvia pintoja.

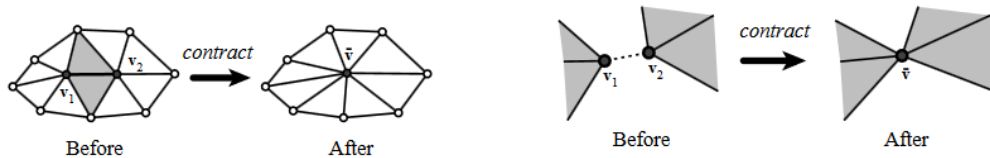
Tallennusmuotoa valitessa ei voida suoraan valita Rhinon oletusformaattia ".3dm", sillä sen maksimikoko tulee suuremmilla tiedostoilla vastaan. Hyväksi todettu vaihtoehto on ".stl"-formaatti.



Kuva 13. Auton etupään skannaus MeshLab-ohjelmassa.

Pienennys tapahtuu tuomalla pistepilvitiedosto MeshLab-ohjelmistoon *Import Mesh* -komennolla. Tämän jälkeen kannattaa rajata pois mahdollisia tarpeettomia pintoja, sillä se nopeuttaa pienennysprosessia. Tarpeettomia

pintoja saattavat olla esimerkiksi vahingossa skannatut pinnat tai alueet, joita ei tulla mallintamaan. Pienennys tehdään yksinkertaistamalla pistepilvitiedostoa käyttäen *Quadric Edge Collapse Decimation* -työkalua. Tämä työkalu käyttää hyväkseen Garland & Heckbert yksinkertaistavaa algoritmia ja sen toimintaperiaate on esitelty kuvassa 14.



Kuva 14. Algoritmin toimintaperiaate (Mgarland 2024).

Työkalussa on useita erilaisia säätömahdollisuuksia, jotka palvelevat eri vaatimuksia, mutta varsinaisen pienennyksen säätöön käytetään joko prosentuaalista valintaa tai pintojen tavoitelukumäärää. Nykyaikaiset ammattikäyttöön tarkoitetut skannerit ovat niin tarkkoja, että pistepilvestä tulee moneen työhön liian tarkka. Sopivaa yleispätevää pienennysprosenttia on mahdoton sanoa, sillä se riippuu vaaditusta yksityiskohtien määrästä ja skannauksen laadusta.

Tässä työssä sopiva tasapaino yksityiskohtien ja mallin keveyden välillä on 50 % alkuperäisen skannauksen laadusta. Suositeltava tallennusformaatti on stl, sillä se sallii myös suurempien mallien tallennuksen ja on avattavissa laajalla määrällä eri ohjelmistoja.

7 Mallinnus

Tässä luvussa läpikäydään mallinnusta ja sitä mitä se pitää sisällään. Tavoitteiden määrittäminen on olennaista ennen varsinaisen työn aloittamista. Mallinnuksesta kerrotaan olennaisia komentoja ja toimintoja sekä kahdesta eri tekniikasta, SubD:stä ja NURBS:sta.

7.1 Tavoite

Ennen mallintamisen aloitusta oli määritettävä työn tavoitteet ja suuntaviivat. Tässä työssä ei olisi tarkoituksenmukaista seurata mitattua tai skannattua pintaa orjallisesti, vaan pyrkiä korjaamaan ajan korille tuomat vauriot. Työssä olisi ennen kaikkea kunnioitettava alkuperäistä muotoa ja pyrkiä ymmärtämään menetelmiä, joita auton rakentajat olivat käyttäneet.

Autosta oli saatavilla suurpiirteiset valmistuspiirustukset (Liite 1), mutta ne olivat ehkä enemmänkin suuntaviivoja kuin tarkkoja dokumentteja. Koriin oli tehty muutostöitä sen toimiessa asuntoautona, ja ne haluttiin jättää pois. Onneksi autosta oli saatavilla vanhoja valokuvia, joita vertailemalla nykytilaan pystyttiin määrittämään jälkikäteen tehdyt muutokset.

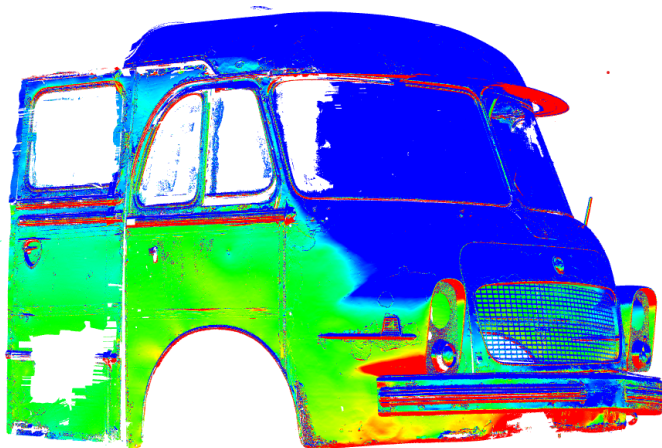
7.2 Pistepilvien asemointi

Aluksi pistepilvi oli asemoitava suunnitteluohjelman x-, y- ja z-akseleiden mukaisesti. Kohdistusta helpottamaan piirrettiin ensin kehikot, joilla auton ääriimitat rajattiin pituus-, leveys- ja korkeussuunnassa. Rhinossa pistepilvien kohdistaminen paikalleen onnistui helposti, sillä kohteita pystyy tarvittaessa kääntämään äärimmäisellä tarkkuudella halutun akselin ympäri ja siirtämään vastaavalla tarkkuudella haluttuun suuntaan. Referenssilinjoina tässä työssä käytettiin esimerkiksi sivulistoja, kattoikkunaa ja auton etuosassa ajovalojen pultinreikiä.

Grid eli apuruudukko kannattaa valita riittävän suureksi. Jos mallinnettava kohde on 10 metriä pitkä, niin 20 x 20 cm apuruudukko katoaa helposti avaruuteen. Apuruudukkoa voidaan auton tapauksessa pitää ikään kuin maan pintana, ja se helpottaa hahmottamaan, kuinka päin mallinnuksen kohde pitäisi koordinaatistoon asettaa. Lisäksi apuna toimivat mallin mukana pyörivät x-, y- ja z-akseleiden suunnan osoittavat nuolet. Myös ruudukon apuviivojen väliä voidaan muuttaa, tässä työssä käytettiin 1 mm väleillä olevaa verkkoa ja 10 x 10 m kokoista apuruudukkoa.

7.3 Pistepilven tulkinta

Pistepilvestä voi olla todella vaikeaa erottaa pinnan muodot ja niiden muutokset. Rhinossa on kuitenkin työkalu, joka korostaa pinnan muodon muutosta väreillä. Tämä työkalu on *Draft Angle Analysis*, sen toimintaa on havainnollistettu kuvassa 15. Mikäli työkalun aktivoinnin jälkeen värien korostus on melkein huomaamatonta, niin työkalun valinta "*Show Edges and Isocurves*" on otettava pois päältä.



Kuva 15. *Draft angle analysis*.

Niin hyödyllinen kun tämä työkalu onkin, tietyissä tapauksissa muoto on helpompi hahmottaa ilman tätä värikorostettua näkymää. Lisäksi

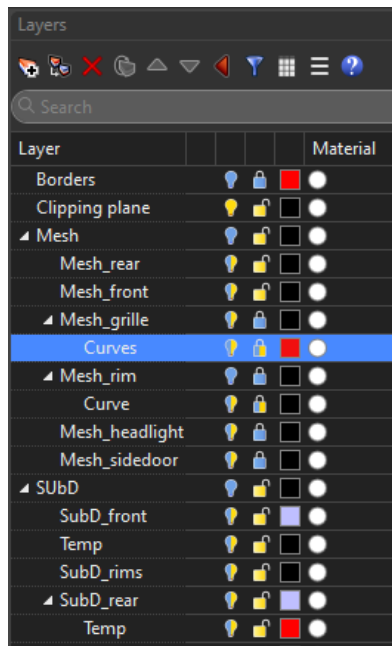
mallinnuksessa käytettäville apuviivoille on hankalaa valita väri, joka erottuisi hyvin näin värikkästä taustasta. Työkalua ei välttämättä tarvitse sulkea, vaan voidaan valita kohteet, joista värikorostus halutaan poistaa.

Tämä työkalu on kuitenkin keskeisessä roolissa niin kauan kuin pintamallia on verrattava pistepilviverkkoon. Työkalun aktivoimista varten pistepilviverkon on oltava lukitsemattomalla tasolla. Työkalun aktivoinnin jälkeen tason voi jälleen lukita, ettei vahingossa tule siirtäneeksi pistepilviverkkoa alkuperäisistä koordinaateista. Kohteen voi myös lukita avoimella tasolla, mutta silloin sen kanssa ei voida olla vuorovaikutuksessa.

7.4 Tasot

Piirtotasot (*Layers*) ovat todella monipuolinen ominaisuus, jota käytetään muissakin CAD-ohjelmistoissa kuten esimerkiksi AutoCad:ssa. Tasojen käyttö on ensiarvoisen tärkeää, kun halutaan järjestellä mallinnusprosessi selkeiksi kokonaisuuksiksi. Kun perinteisissä mallinnusohjelmissa työstä muodostuu piirrepuu ja luonnokset jäävät automaattisesti pääominaisuuden alle, niin Rhinossa näin ei tapahdu.

Jos eri piirteitä ei järjestellä omille tasoilleen, pahimmillaan samassa kohdassa voi olla kontrollipiste, viivan alku tai loppu ja luodun tason pinta tai reuna. Helpoin tapa pitää malli järjestyksessä ja välttää virheellisiä toimintoja on luoda oma taso eri toiminnoille ja mallinnuksen työvaiheille. Kuvassa 16 on luotu erilliset tasot eri piirteille ja tarvittaessa luotu niille alitasoja. Tyypillisiä alitasoja ovat apuviivat, leikkaustasot ja tasot, joilla mallinnettava kohde jaetaan pienempiin kokonaisuuksiin.



Kuva 16. Tasot.

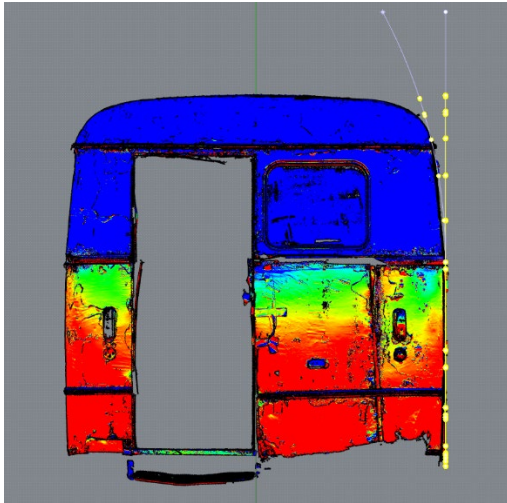
Tasoja käyttämällä voidaan vaikuttaa myös useaan eri visuaaliseen tekijään. Tasolla oleville objekteille voidaan määrittää oma väri tai materiaali. Tasolla olevat kohteet voidaan lukita kokonaan tai piilottaa näkyvistä. Mitä monimutkaisemmasta mallista on kyse, sen tärkeämpään asemaan tasojen monipuolinen hyödyntäminen nousee.

7.5 SubD

Pinnat, joita voisi myös kutsua soluiksi, on suositeltavaa luoda rautalankanäkymässä (*Wireframe*). Tämä mahdollistaa luotavan pinnan takana olevan pistepilvipinnan muodon näkemisen. Kun valitusta pistepilvipintaan kohtisuorasta kuvakulmasta on saatu kohteen muoto jaettua sopiviin alueisiin ja päästy ääriivivoihin asti, on luotu pinta siirrettävä pistepilvipinnan kanssa samalle tasolle. Tämä tehdään edelliseen kuvakulmaan nähden kohtisuorasta näkymästä.

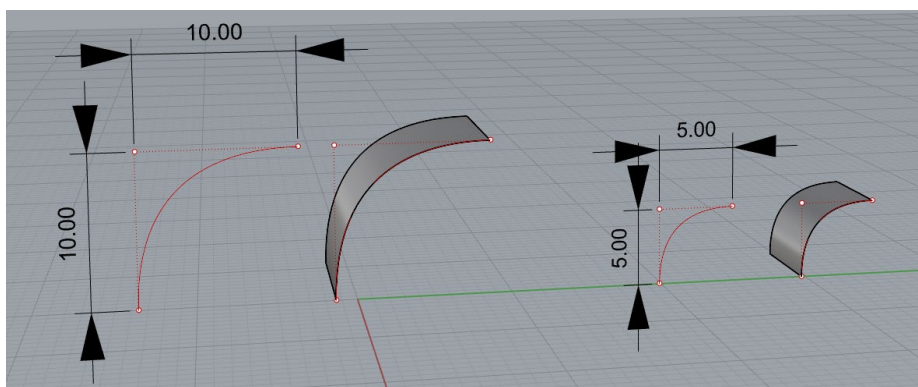
Luotua SubD-pintaa ei ole tehokasta alkaa siirtämään piste kerrallaan seuraamaan pistepilvipintaa, vaan aluksi kannattaa tehdä karkeampi asettelu

esimerkiksi *Bend*-komennon avulla. Komennossa valitaan ensin haluttu kohde ja tämän jälkeen taivutusakselin alku ja loppupisteet (Kuva 17).



Kuva 17. SubD-pinnan taivutus korin muotoon.

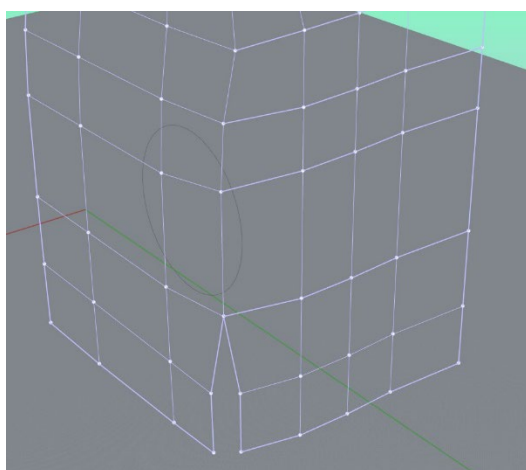
Tultaessa korin muodossa taivutuksiin on huomioitava niin sanottu kolmen sääntö, jota havainnollistetaan kuvassa 18. Kaaren muodostava viiva tarvitsee aina vähintään kolme pistettä, sama sääntö koskee myös SubD-pintoja. Pisteiden keskinäinen etäisyys määrittää kaaren säteen. Tätä sääntöä hyvin havainnollistava video löytyy McNeal-yhtiön teknisen neuvonantajan Kyle Houchensin opetusvideoista (Houchens 2024).



Kuva 18. Kolmen sääntö.

Kun kahta eri pintaa aletaan yhdistää, on erittäin tärkeää huomioida, että pinnoissa on oltava sama määrä soluja. Tasot yhdistyvät toisiinsa niiden kulmissa olevista kontrollipisteistä, joten pisteiden lukumäärän on täsmättävä viereisen solun pisteisiin. Kulmissa, joissa on kaksoiskaarevaa taivutusta, on mahdollista käyttää myös kolmion muotoista solua, mutta perussääntönä on, että SubD toimii luontevimmin neliön muotoisilla soluilla ja takaa parhaan pinnanmuodon jatkuvuuden.

Esimerkkikuvassa 19 auton sivun ja peräpään SubD-pintoja aletaan yhdistää. Samalla kannattaa huomioida, että mahdollisuus repeämiin pienenee, kun erillään olevat pinnat pidetään selkeästi irti toisistaan ennen niiden yhdistämistä *Stich*-komennolla. Repeämällä tässä tarkoitetaan kohtia, joissa kontrollipisteet näyttävät olevan yhdessä, mutta eivät sitä todellisuudessa ole.

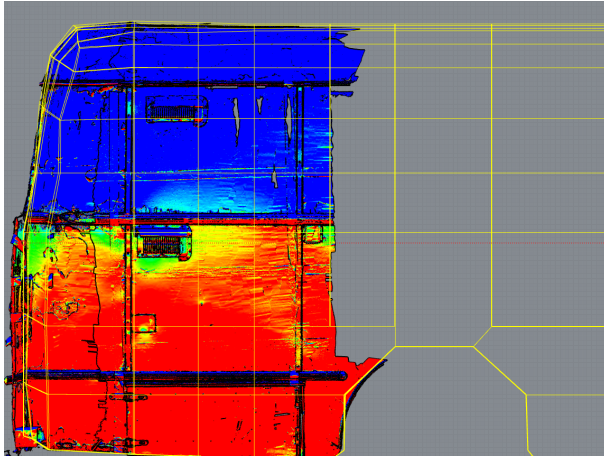


Kuva 19. Pisteiden "neulominen" yhteen.

Leikkaustasojen tehokas käyttö edellyttää, että SubD-solut on järjestelty oikealla tavalla. Oikea tapa toimia on huolehtia, että solujen reunat ovat samassa linjassa toistensa kanssa (Kuva 20). Näin ollen pystytään kahdella leikkaustasolla valitsemaan kapea, esimerkiksi 10 mm leveä kaistale, jonka väliin kaikki läpileikkauksen kontrollipisteet jäävät ja näin ollen ovat muokattavissa.

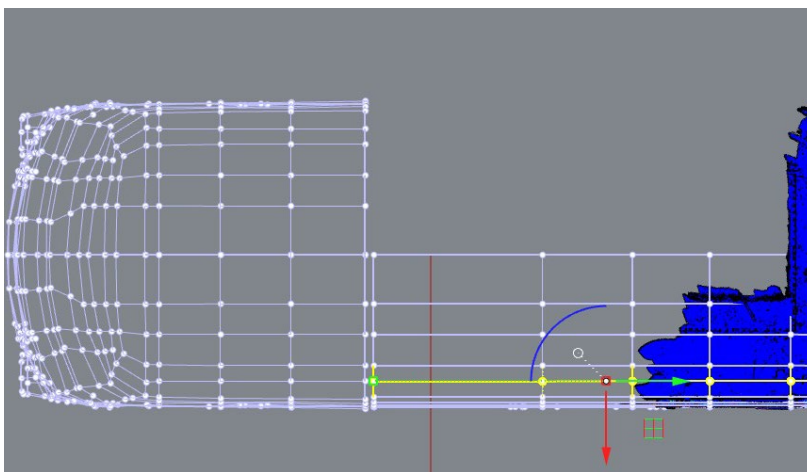
Helpoin tapa järjestää solujen reunat yhteen linjaan on valita kaikki saman läpileikkauksen pisteet ja skaalata niiden sijainti nolnaan toivotun akselin

suhteen. Skaalaus on helpointa toteuttaa valitsemalla *Gumball*:sta halutun akselin yhteydestä löytyvä pieni neliö tai käyttämällä *Scale*-komentoa ja antamalla arvon nolla. *Gumball* on Rhinossa oleva pienoisohjelman, jota käytetään kohteiden hallittuun siirtelyyn, skaalaukseen ja mittojen antamiseen.



Kuva 20. *Boxmode* ja solujen sijoittelu.

Pinnasta tulee järjestelmällisemmän näköinen ja helpommin muokattava, kun pisteet ovat SubD:n laatikkonäkymässä valitun kuvakulman mukaan siisteissä jonoissa ja riveissä. On jälleen hyvä huomioida, että liitoskohdassa on oltava yhtä monta solua molemmin puolin rajaa, kuten kuvan 21 liitoskohdassa. Näin pisteet voidaan neuloa yhteen tai luoda uusia soluja rajojen välille *Bridge*-komennolla.



Kuva 21. SubD-pintojen yhdistäminen.

Siirryttäessä SubD:stä NURBS:in on huomattava, että samalla menetetään peruspinnan muokattavuus. Muunnoksessa yksi SubD-pinta muuttuu mallin koosta ja sen muodosta riippuen useiksi kymmeniksi eri pinnoiksi. Nämä kymmenet eri pinnat ovat samassa linjassa toistensa kanssa ja näyttävät yhdeltä isolta pinnalta, mutta eivät todellisuudessa kuitenkaan ole sitä.

On mahdotonta alkaa muokkaamaan useaa pintaa kerralla kontrollipisteitä siirtelemällä, sillä se onnistuu ainoastaan yksittäisille pinnoille. Jos sen sijaan useat yhteen liitetyt pinnat "räjäytetään" erillisiksi pinnoiksi ja aletaan muokkaamaan yksittäistä pintaa sen ulkoreunan kontrollipisteitä siirtelemällä, pinnat repeävät irti toisistaan. SubD:llä pinta kannattaakin tehdä loppuun asti ennen mallinnustekniikan vaihtamista.

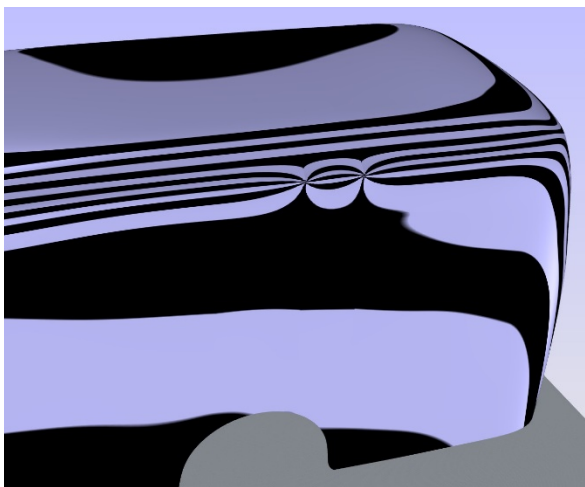
7.6 Repeytymät pinnassa

Välillä eri pintoja yhdistäessä ja ylimääräisiä SubD-reunaviivoja poistaessa saattaa pintaan tulla repeytymiä. Rautalankanäkymässä niiden havaitseminen voi olla todella haastavaa, varsinkin jos valitussa kuvakulmassa kontrollipisteet näyttävät olevan yhdessä. Hyödyllinen työkalu repeytymien paljastamiseen on *Edge Analysis*. Tällä työkalulla saa ohjelman korostamaan halutulla värillä paljaat reunat. Paljaita reunoja ovat kaikki ulkoreunat, mutta jos pinnassa on repeytymiä, paljaita reunoja voi esiintyä myös keskellä mallia. Usein helpoin keino repeytymien korjaamiseen on valita vierekkäin tai jopa päällekkäin olevat reunan kontrollipisteet ja käyttää *Stich*-komentoa. Rhinossa on myös automaattisia repeytymien korjaustoimintoja, kuten *Join 2 Naked Edges*.

7.7 Pinnanmuodon jatkuvuus

Perussääntö pinnan luontevalle muodolle on käyttää mahdollisimman vähän SubD-pintoja. Työ kannattaa aloittaa tekemällä vain pakolliset pinnat halutun muodon saavuttamiseksi ja vasta myöhemmin lisätä niitä, jos haluttua pinnanmuotoa ei saada toteutettua. Esimerkiksi hyvin tiukassa pinnan suunnan

muutoksessa tarvitaan useita lähekkäin olevia tasoja. Pintoja yhdistäessä ja muokatessa saattaa helposti jäädä joidenkin pintojen väliin *SubD Crease* päälle, tämä ominaisuus mahdollistaa terävän kulman pintojen välille. Ominaisuuden päälle jäämistä on välillä hankalaa huomata ilman pinnan muodon jatkuvuutta visualisoivaa *Zebra*-työkalua, työkalun toiminta näkyy kuvassa 22. Tässä mallinnuksessa teräviä kulmia ei joitain välivaiheita lukuun ottamatta ollut ollenkaan. Osassa pinnan suunnan muutoksissa säteet olivat pieniä, mutta eivät koskaan teräviä.



Kuva 22. Zebra-työkalu.

7.8 Pintojen luominen NURBS-tekniikalla

Tässä työssä suuret pinnat luotiin SubD:llä, mutta jos ne olisi tehty NURBS:lla, niin yksi mielenkiintoinen tapa olisi tehdä se projisoimalla pisteitä pistepilvipintaan. Pisteitä voidaan lisätä joko itse haluttuihin paikkoihin tai käyttää *Autospacing*-komentoa, joka tekee valitun määrän pisteitä käyttäjän valitsemalle alueelle. On huomioitava, että *Autospacing* tekee pisteverkoston suorakulmion muotoiselle alueelle, eli esimerkiksi ympyrän muotoiselle alueelle ei pisteitä saa tasaisesti jaettua.

Kun haluttu pisteverkko on luotu, se voidaan heijastaa pistepilvipintaan. Näkymä on valittava siten, että pisteet ovat halutun kohdepinnan edessä ja näkymä on kohtisuora haluttuun kohdepintaan nähden. Esimerkiksi näkymässä

oikealta voidaan heijastaa pisteitä korin oikeaan sivuun ja heijastettavien pisteiden täytyy olla korin ja näkymän välissä.

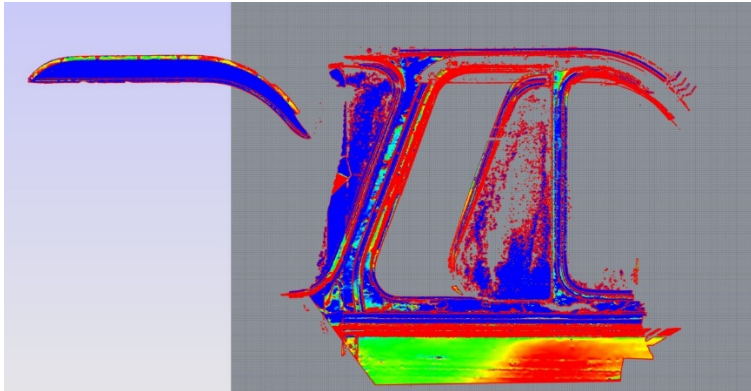
Pistepilvipinnan täytyy olla lukitsemattomalla tasolla, jotta heijastettavat pisteet voivat kohdata sen. Jos pistepilvipinta on reikäinen tai pisteiden sijoittelu on muuten epäonnistunut, heijastettavat pisteet menevät läpi pistepilvipinnasta. Tämä vääristää luonnollisesti myös tason, joka pisteiden perusteella on tarkoitus luoda. Kannattaa siis kiinnittää jo pisteitä luodessa huomiota siihen, että pisteen kohdalla on ehjä pinta takana.

Lopuksi voidaan luoda pinta, joka kulkee aikaisemmin heijastettujen pisteiden kautta. Tässä vaiheessa pistepilvipinta kannattaa piilottaa, jotta luodut pisteet löytyvät helpommin. Toinen vaihtoehto on käyttää valintatyökaluja ja valita ainoastaan pisteet. Näin saadaan aikaiseksi helposti todella tarkasti pistepilvipintaa mukaileva taso. Tekniikan käyttökelpoisuutta rajoittavat pistepilvipinnan mahdollinen "reikäisyys" ja *Autospacing*-työkalun käytön kanssa pisteverkon suorakulmainen muoto.

7.9 Mallinnusesimerkkejä

Aurinkolippa

Yksityiskohtia varten voi olla tarpeen tehdä pistepilvipinnasta kopio. Kun kopio on tehty, niin se voidaan "räjäyttää" ja päästään eristämään haluttua yksityiskohtaa. Välillä haluttu osa saadaan suoraan poistamalla muut osat sen ympäriltä, ja välillä joudutaan leikkaamaan se irti ei toivotusta pinnasta. Kuvassa 23 sivuikkunan lippa lähti suoraan irti muusta pinnasta "räjäytyksen" jälkeen. "Räjäytys" rikkoo pintojen keskinäisen sidoksen, ja jos pinnoilla ei ole fyysistä yhteyttä, ne eivät enää sido toisiaan. Irrotettua yksityiskohtaa on helpompi tarkastella joka suunnalta ja lisäksi mallin pyörittäminen helpottuu, kun ylimääräiset osat voidaan piilottaa ympäriltä.



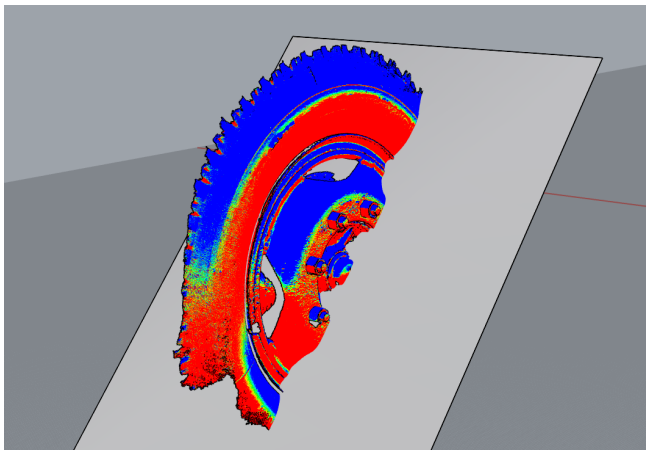
Kuva 23. Osien irrotus mallista.

Kyseisen lipan mallinnus olisi voitu tehdä myös SubD-tekniikalla, mutta tässä tapauksessa piirrettiin lipan ylä- ja alareunan muodot erillisinä viivoina. Lipan muodosta otettiin useita läpileikkauksia *Mesh Intersect* -komennolla ja pinta luotiin käyttämällä *2 Rail Sweep*:ä. *Sweep*-työkaluissa valitaan yksi tai kaksi reittiä, joita pitkin haluttua profiilia kuljetetaan ja luodaan uusi pinta.

Skannauksesta saatu pistepilvipinta oli pääosin niin reikäistä, että *Mesh Intersect* -komentoa ei voitu tehokkaasti käyttää kuin muutamassa kohdassa. Näissä tilanteissa oli joko pyrittävä korjaamaan saatu katkonainen profiili tai tehtävä työ silmämääräisesti piirtämällä viiva läpileikkauksen pinnanmuotoa mukaillen.

Etupyörän vanne

Vanteen muoto saadaan tekemällä vanteen läpileikkauksesta saadusta profiilista pyörähdyskappale. Läpileikkausta varten luodaan pistepilven leikkaava taso, joka on nähtävissä kuvassa 24. Vanteessa olevat yksityiskohdat, kuten leikkaukset ja mutterit, täytyy lisätä jälkikäteen.



Kuva 24. Vanteen pistepilvipinnan leikkaava taso.

Mesh Intersect:ä varten täytyy ensin luoda halutun pinnan leikkaava taso. Pyörähdyškappaletta tehdessä on ensiarvoisen tärkeää, että leikkaava taso kulkee pyöreän kappaleen keskipisteen kautta, sillä muuten lopputuloksesta tulee vääristynyt. Rhinossa leikkaustason keskipisteen ja vanteen akselin yhteen saaminen on suhteellisen yksinkertaista. Ensin vanteen pistepilvi on kohdistettava halutun koordinaatiston mukaisesti. Tässä on hyvä huomioida, että vaikka suuremman kokonaisuuden pistepilvi, esimerkiksi korin etupää, olisikin kohdistettu aikaisemmin, suurella todennäköisyydellä etupyörät voivat olla käännettynä vinoon tai niissä voi olla pystykallistumaa. Erillinen koordinaatistoon keskitys on siis vanteiden kohdalla aina tarpeellista.

Tämän työvaiheen jälkeen vanteesta etsitään ehjä ja mahdollisimman selkeä ympyrämuoto, tämä voi olla joko vanteen ulkoreuna tai napa. Ympyrän koolla ei ole väliä, sillä sitä käytetään apuna keskipisteen paikallistamisessa. Tämän jälkeen luodaan sopivan kokoinen taso, joka on riittävän laaja leikkaamaan vanteen halkaisijan ja leveyden suhteen. Siirrettäväksi kappaleeksi valitaan juuri luotu taso ja sen siirtokohdaksi Rhinon *Object Snap*:llä keskipiste. Vastaavasti vanteen kohdalla hyödynnetään aikaisemmin luotua ympyrää, jonka keskipisteen Rhino tunnistaa.

Tasoa käännellään asentoon, jossa se leikkaa mahdollisimman ehjän kohdan vanteesta ja saadaan mahdollisimman täydellinen *Intersect Curve* eli

läpileikkauksen profiili. Jos tuloksena tulee muutaman sijaan valtava määrä erillisiä viivoja, niin tulee tarkistaa, onko kohteena yhden pistepilven sijaan useampia. Virheen aiheuttaa se, että jos kohteessa on kaksi tai useampi pistepilvi, viivat piirtyvät myös niiden risteyskohtiin, vaikka tavoitteena oli saada ainoastaan leikkaustason ja pistepilvipinnan välinen kohtausta paikka.

Tulokseksi saadussa viivassa voi helposti olla yli tuhat kontrollipistettä. Viivasta on siis saatava paljon yksinkertaisempi, jotta pinnan muodosta tulisi luonnollinen. Helpoin tapa tehdä tämä on käyttää *Rebuild*-käskyä. *Rebuild*-työkalu kertoo nykyisen kontrollipisteiden määrän ja antaa käyttäjän valita tavoitetaso, jolla viiva rakennetaan uudelleen. On huomattava, että mitä vähemmän pisteitä on, sitä enemmän alkuperäistä muotoa menetetään. Työkalun suurin ongelma on, että se jakaa pisteet tasaisesti koko viivan pituudelle. Näin ollen suorilla osuuksilla on turhia pisteitä, joita voitaisiin hyödyntää mutkissa.

Työkaluun voidaan syöttää haluttu tavoitepistemäärä ja esikatselukuva näyttää lopputuloksen, jos valinta hyväksytään. Jos toivottuun tulokseen ei päästä tasaisesti jakautuneilla kontrollipisteillä, niin toinen vaihtoehto on käyttää läpileikkauksesta saatua viivaa mallina ja piirtää itse sitä mukaileva kontrollipisteillä muokattava viiva. Monesti näin saadaan aikaiseksi paras kompromissi pisteiden määrän ja halutun muodon välillä.

Kattolistat

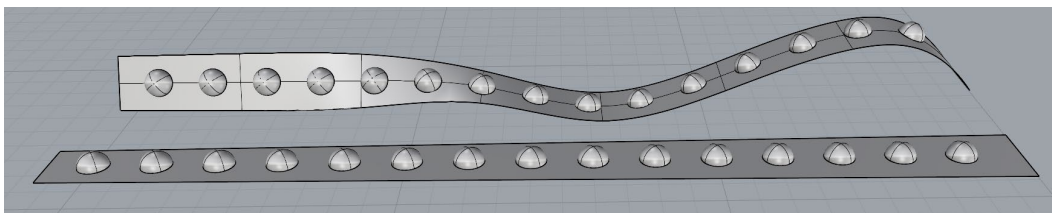
Auton katolla on korin pinnan muodostavien peltien saumoissa olevat listat, jotka on kiinnitetty niiteillä. Listat kiertävät suorakaiteen muodossa koko katon. Auton katto kallistelee sekä auton pituus- että leveys suunnassa (Kuva 25).



Kuva 25. Kattolistat.

Listojen mallintamista varten tarvitaan sen kulkema reitti. Koska katossa on kaarevuutta myös auton leveys suunnassa, ei yksi kisko riitä. Kaikille neljälle listalle on siis tehtävä listan molempien ulkoreunojen kohdille kiskot. Nämä kiskot heijastetaan *Project*-komennolla katon pintaan. Seuraava työvaihe toimii varmemmin, jos niittien kohdepinta ei koostu useista eri pinnoista ja tästä syystä *Two Rail Sweep* -metodi ei välttämättä tuo toivottua lopputulosta. Sen sijaan katon pintaan heijastetut kiskot on kopioitava katon pinnasta toivotun etäisyyden päähän ja näiden kiskojen välille on luotava pinnat, joko *Patch*- tai *Blend Surface* -komennolla. Komennolla saadaan luotua listat, jotka seuraavat katon muotoa kaikissa kallistuksissa ja taso, jolla niitit tulevat koostuu yhdestä pinnasta.

Listat kiinnittyvät kattoon niiteillä ja niitä on noin 100 mm välin. Niittien on luonnollisesti seurattava listan muotoa. Aluksi luodaan kattolistan kokoinen pinta, jonka alkuun luodaan yksi niitin kanta. Kanta monistetaan *Linear Array* -komennolla kattamaan koko listan pituus sopivin välein. Kuvassa 26 esitellään niittien listaan mallinnuksen toimintaperiaate.



Kuva 26. Niittien heijastaminen kaarevaan pintaan.

Luotu pinta toimii perustasona kohdelistoihin muodostettaville niiteille. *Flow Along Surface* -komennolla saadaan peruspinnalla olevat niitit kopioitua auton katolle luotuihin listoihin. Komento opastaa tarvittavat toimenpiteet, joita seuraamalla niitit saadaan luotua. Jos niitit eivät seuraa listan kallistumista sivusuunnassa, valinta *Rigid* on muutettava tilaan "kyllä". Tämä pakottaa toiminnon seuraamaan pintaa täsmällisesti.

7.10 Mallintamista tukevat laitteet ja käskyt

Rhinon näkymä on mahdollista jakaa yhteen suureen tai useampaan pienempään näkymään. Käytettäessä yhtä näkymää kerrallaan saadaan paljon enemmän tilaa mallinnettavalle kohteelle. Toisaalta tämä tuo tarpeen vaihdella eri kuvakulmien välillä ja pyöritellä mallia. Tähän tarkoitukseen *Space mouse* -työkalu on erinomainen apuväline. Sillä mallia saadaan käänneltyä jopa kuuden akselin ympäri, ja myös mallin lähentäminen/loitontaminen ja liikuttelu onnistuvat. Lisäksi hiiren kyljessä oleville painikkeelle voi ohjelmoida toivottuja makroja.

Mallinnusohjelman sujuva käyttö ei voi perustua komentojen etsimiseen useamman valikon takaa. Rhinossa voi luoda oman pikavalikon eniten käytetyille työkaluille, ja se on vapaasti muokattavissa. Valikkoa kannattaakin päivittää pitkin mallinnusprosessia. Valikon saa oletusarvoisesti näkymään painamalla hiiren keskimmäistä nappia. Aukeavaan suppeaan valikkoon voi kopioida haluamansa työkalut ja poistaa tarpeettomia. SubD-mallinnuksessa erityisen aktiivisessa käytössä on vuorottelu rautalankamallin ja pinnat kiinteänä näyttävän näkymän välillä.

Rhino tukee aliaksia, ja myös nämä komennot ovat täysin käyttäjän itse päätettävissä. Erityisesti eri kuvantojen välillä vaihtelu on näillä lyhytkomennoilla erittäin nopeaa ja helppoa. Esimerkiksi näkymä ylhäältäpäin tulee kirjoittamalla "t + enter". Lisäksi Rhino alkaa tunnistaa useimmin käytettyjä komentoja ja alkaa ehdottaa niitä jo sanan alkukirjaimien perusteella. Kun työ on laaja ja samoja toimintoja joutuu toistamaan lukuisia kertoja, pienikin työn nopeutuminen kertaantuu suureksi hyödyksi.

8 Tulokset

Toimeksiannossa määritellyt tavoitteet saavutettiin. Korin muoto kyettiin taltioimaan pistepilvipinnan perusteella vaaditulla tarkkuudella. Entisöintityötä havainnollistava runkopuiden muotoon leikkaaminen korin muodolla on nähtävissä kuvassa 27.



Kuva 27. Kori ja runkopuut.

Sosiaalista mediaa ja mainostamista palveleva auton ulkonäkö saavutti myös tavoitteensa. Mallista puuttuu edelleen yksityiskohtia ja esimerkiksi kuvassa 27 nähtävien tekstien fontit eivät vastaa alkuperäistä ilmettä.

Työn toissijainen tavoite saavutettiin myös, ymmärrys eri tekniikoiden toimintatavoista ja rajoitteista kasvoi. Suuria edistysaskelia tämän ymmärryksen kasvamisessa toi teoriaan tutustuminen ja sisäistäminen. Kun tietää, että ennen tämän työn aloitusta ei kokemusta pintamallinnuksesta tai käytetyistä ohjelmista ollut ollenkaan, niin saavutettuihin tuloksiin voi olla tyytyväinen.

9 Lopuksi

Työ osoittautui odotettua laajemmaksi, sillä pelkästään uusien ohjelmistojen omaksuminen vei paljon aikaa. Ison osan haasteesta toi työn vaatima tarkkuus, työn oli palveltava entisöintiä ja kunnioitettava auton alkuperäistä muotoa. Samalla referenssinä käytettyjä pistepilviverkkoja ei voinut seurata sokeasti vaan kaikki virheiksi tulkitut muodot oli korjattava. Auton ulkokuorta mallintaessa oli tarkoitus korjata korille ajan saatossa tulleet vauriot ja poistaa jälkikäteen tehdyt muutokset. Mallinnustyön lopputulos onkin siis enemmän mallintajan näkemys korin muodosta, kuin täydellinen pistepilven seuraaminen pintamallinnusta tehtäessä.

Tämä työ tarjosi mahdollisuuden perehtyä uusiin ohjelmistoihin ja kehittää mallinnusosaamista. Pistepilvitiedostojen suuri koko toi ongelmia tietokoneen suorituskyvyn suhteen. Ilman tarvittavien ohjelmistojen vahvaa osaamista ennen tämänkaltaisen projektin aloittamista, on todella vaikeaa arvioida työn vaatima aika.

Ennen projektin aloittamista on tärkeää tehdä selväksi työn tavoitteet, asetetut laatuvaatimukset sekä yksityiskohtien määrä. Projektin eri osa-alueiden priorisointi on myös ensiarvoisen tärkeää. Kun työ on laaja ja työhön käytettävä aika on kuitenkin kovin rajallista, edellä mainittujen työvaiheiden merkitys korostuu.

Lähteet

- Elo, M. 2010. SubDivision-mallinnus. Viitattu 27.12.2023.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/16617/Subdivision_-mallinnus.pdf;jsessionid=0986AD55569A0F9AAD4B8B87F25E0A9C?sequence=1
- Holden, D. 2011. Subdivision modelling. Viitattu 6.4.2024.
<https://theorangeduck.com/page/subdivision-modelling>
- Houchens, K. 2024. Rule of three. Viitattu 17.3.2024.
<https://www.youtube.com/watch?v=1XNr2HBpGdU>
- Kasurinen, J. 2016. Pistepilvestä pelimaailmaksi. Viitattu 31.3.2024.
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/120754/Joonas_Kasurinen.pdf?sequence=1&isAllowed=
- Maines, E. 2007. Suomen ensimmäinen kirjastoauto oli Vanha Ykkönen. Viitattu 31.3.2024.
https://agricola.utu.fi/mikael/agricola2007/tapahtumat/agricola_bussit/vanha_ykkonen/index.html
- McNeel 2024. What are NURBS. Viitattu 26.3.2024.
<https://www.rhino3d.com/features/nurbs/>
- Mgarland 2024. Garland and Heckbert simplification algorithm. Viitattu 16.3.2024.
<http://mgarland.org/files/papers/quadrics.pdf>
- Myllymäki, V. 2022. ”Turussa on kirjastoautoiltu jo 60 vuotta” -kulttuuriblogi. 7.2.2022. Turun kaupunginkirjasto. Viitattu 2.6.2024.
<https://www.turku.fi/blogit/kulttuuriblogi/turussa-kirjastoautoiltu-yli-60-vuotta>
- Peda 2024. 3D-skannaus. Viitattu 5.4.2024.
<https://peda.net/konnevesi/lukio/arkisto/projektit2/3d-tulostus/3d-skannaus>
- Tietoa 2024. Laserkeilaus. Viitattu 31.3.2024.
<https://tietoa.fi/palvelut/luotettavat-lahtotiedot/laserkeilaus/>

