

Opinnäytetyö (AMK)

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

2020

Edvard Sokko

3D-SKANNAUS AUTON KORIN MALLINTAMISESSA JA UUDEN KORIN OSAN SUUNNITTELU

– Rhino 6

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Joulukuu 2020 | 44 sivua

Edvard Sokko

3D-SKANNAUS AUTON KORIN MALLINTAMISESSA JA UUDEN KORIN OSAN SUUNNITTELU

- Rhino 6

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena on mallintaa etupuskuri olemassa olevaan kilpa-autoon. Onnistuneen mallin tuottamista varten opinnäytetyö ensin käsittelee perusteet 3D-mallintamiselle ja 3D-skannaukselle. Luvut kertovat, mitä 3D-mallinnuksella ja 3D-skannauksella voidaan saavuttaa ja kuinka niitä tulkitaan. Kilpa-autosta on skannattu etuosan alueen pinnat polygonimuodossa. Opinnäytetyössä on tavoitteena saada niiden verkostojen pohjalta mallinnettua etuosan pinnat. Mallinnetun etuosan pintojen on tarkoitus seurata tarkasti alkuperäisiä skannattuja pintoja. Työssä käytetään Rhino 6 3D-mallinnusohjelmaa ja sen sisältäviä työkaluja. Opinnäytetyössä esitellään yleisimmät työkalut, jotka mahdollistavat muunnostyön.

Muunnostyön jälkeen rata-autoon suunnitellaan ja mallinnetaan uusi korinosa. Opinnäytetyössä käsitellään eri vaatimuksia, jotka ovat asetettu joko teknisien määräyksien tai toimeksiantajan mukaan. Puskurin suunnittelun ja mallinnuksen aikana opinnäytetyössä esitellään erilaisia työkaluja ja havainnollistavia kuvia.

ASIASANAT:

CAD, tekninen suunnittelu, 3D-skannerit, parametrinen malli

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Automotive and Transportation Engineering

December 2020 | 44 pages

Edvard Sokko

USE OF 3D SCANNING TO MODEL A CAR BODY AND TO DESIGN A NEW PART

- Rhino 6

The goal of this thesis is to model a front bumper for a racecar from a scanned model. To successfully model the front end of a racecar and to design a bumper, the thesis will explain the necessary prerequisites to achieve the goals set by the thesis. This thesis will go throughout the process of interpreting polygon mesh surfaces and how to model a parametric surface in relation to it. To achieve the parametric surfaces, the use of Rhino 6 CAD-software will be shown. Throughout the thesis, there will be illustrative images of different tools used. This phase of the work is relative to any reverse engineering task.

After the polygon mesh surfaces have been transformed into parametric surfaces, the thesis will go through the planning and designing of the bumper in accordance of customer's wishes. Planning will include the main requirements set by the customer and why they have to be achieved. Design and modelling of the bumper will include different illustrative images again to show how something was achieved.

KEYWORDS:

CAD, modelling, 3D, CARE

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
2 PINTOJEN 3D-MALLINTAMINEN	7
2.1 CAD-mallinnus	7
2.2 Käyttökohteita	9
2.3 Rhinoceros 6	10
3 KOORDINAATTIMITTAUSLAITE	12
3.1 3D-skannaus	12
3.2 Käyttökohteita	13
3.3 Artec 3D	14
4 TYÖN KOHDE	16
5 3D-SKANNAUS JA POLYGON-PINTOJEN KÄYTTÖ MALLINTAMISESSA	18
5.1 Skannausprosessi	18
5.2 Skannattujen polygon-pintojen lataus Rhinoon	19
5.3 Polygon-pintojen analysointi	20
5.4 CAD-piirtäminen	21
5.4.1 Käyrien luonti	21
5.4.2 Pintojen luominen	22
6 UUDEN KORIN OSAN 3D-MALLINNUS	31
6.1 Tehtävämäärittely	31
6.2 Luominen	33
6.3 Analysointi sekä hienosäätö	35
6.4 Lopputulos	36
7 POHDINTAA	38
7.1 Onnistumiset	38
7.2 Kehityskohteet	39
8 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	42

KUVAT

Kuva 1. Bézierin käyrä (Wikipedia Commons 2006a).	8
Kuva 2. B-spline-käyrä (Wikipedia Commons 2013).	8
Kuva 3. NURBS-käyrä (Wikipedia Commons 2006b).	9
Kuva 4. T-SCAN -järjestelmän viivaskannaus polkupyöränrungosta (Hands on Metrology 2020).	12
Kuva 5. Zeiss T-Point pisteskanneri käytössä (Hands on Metrology 2020).	12
Kuva 6. Toisen maailmansodan aikainen juomapullo 3D-skannattuna (Mid-Pacific 2017).	14
Kuva 7. Artec Leo v2 käsikäyttöinen 3D-skanneri (Artec 3D Leo 2020b).	14
Kuva 8. Suzuki Swift 1300 Gti Mark II Alastaron varikkoalueella (Riku Lintervo 2019).	16
Kuva 9. Artec Leo käytössä (Riku Lintervo 2019).	19
Kuva 10. Polygon-pinta tuotu Rhinon työtilaan.	19
Kuva 11. Insert-asetukset.	20
Kuva 12. Etuoikean korinosan skannausdatan linjaus konepeiton polygon-pintaan.	20
Kuva 13. "Draft angle" -työkalulla näkee polygon-pintojen muodot.	21
Kuva 14. Pistepilven laskostus etuosan polygon-pinnan päälle.	22
Kuva 15. Ohjaukseyrillä kyetään leikkaamaan ylimääräiset pinnat pois.	23
Kuva 16. "Loft" ei ota huomioon pinnan muotoa, vaan luo suoran pinnan.	24
Kuva 17. Käyrien ja pintojen kaarevuus kuvitettuna (Autodesk Alias Automotive 2014).	24
Kuva 18. "Blend surface" -työkalulla luodaan pinta olemassa olevan polygon-pinnan mukaisesti.	25
Kuva 19. Ajovalon pinnan ja etuosapinnan välissä oleva rako.	25
Kuva 20. "Blend surface" -työkalulla kyetään valitsemaan halutun pinnan reunat.	26
Kuva 21. "Blend surface" -työkalulla asetuksia sekä alku- ja lopetuspisteitä voidaan säätää.	26
Kuva 22. Alku- ja lopetuspisteet säädetty samaan linjaan, mikä mahdollistaa muodon säädön.	27
Kuva 23. Pinnoille voidaan luoda paksuutta käyttämällä "OffsetSrf"-työkalua.	29
Kuva 24. Leikkauskohtaan luodaan putki, jolla halkaistaan pinnat.	29
Kuva 25. "Blend surface" -työkalulla luodaan pyöristys poistettujen pintojen tilalle.	30
Kuva 26. Etuosan mallinnus valmiina käyttäen eri pinnan luontityökaluja.	30
Kuva 27. Porsche 935 Kremer (Nakhon100, Wikipedia Commons 2016).	32
Kuva 28. Puskurin ohjaustappi-idea ja limityksen luonnoskuva.	33
Kuva 29. Ajovaloumpion kiinnike (Aliexpress 2020)	34
Kuva 30. Puskurin limitys ilman olemassa olevaa etuosaa.	34
Kuva 31. Olemassa oleva konepelti paikoillaan.	35
Kuva 32. "Draft angle" -työkalua käyttämällä voi visualisoida pintojen muodot selkeästi.	35
Kuva 33. Lopputulos etuprofiilista renderöidyillä väreillä.	36
Kuva 34. "Isocurve"-näkymsillä nähdään poikkileikkaukset NURBS-käyristä.	37
Kuva 35. Ajovalon syvennys ja akryylimuovi mallinnettu.	37
Kuva 36. Zebra-pinnat etuprofiilista, jotka ilmaisevat pinnan muodot.	40

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä luodaan kilpa-auton olemassa olevasta etuosasta kolmiulotteinen (3D) malli. Etuosan monimutkaisten muotojen vuoksi työssä käytetään 3D-skanneria ja tavoitteena on hyödyntää siitä saatua polygon-pintaa 3D-mallinnuksessa. Etuosan 3D-mallin perusteella kilpa-autoon täytyy myös suunnitella kokonaan uusi osa, etupuskurin alaosa, joka täyttää toimeksiantajan antamat ulkonäölliset ja rakenteelliset toivomukset. Suunnittelutyön kohdeauto on ratakilpa-auto, joten sen korinosien mallintamisessa on huomioitava myös tekniset luokkasäännöt.

Työ käsittelee auton pintojen käännteissuunnittelua ja skannausdatan hyödyntämistä. Auto skannattiin kokonaisuudessaan toimeksiantaja toimesta Artec Leo -käsikäyttöisellä 3D-skannerilla. Saatua raakadata muutettiin stl-muotoon Artec:n Studio 14 -ohjelmalla.

Tässä opinnäytetyössä kuvataan oleellisin osin polygon-pintojen käyttö mallinnuksessa. Jotta tavoite saavutetaan, joudutaan tekemään pohjatyö itse puskurin mallintamista varten. Opinnäytetyön aikaa vievin ja työläin vaihe on muokattavien pintojen luominen stl-tiedostoista saatujen polygon-pintojen pohjalta. Tämän jälkeen puskuri suunnitellaan ja mallinnetaan toimeksiantajan toiveiden mukaisesti. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon sekä ulkonäölliset vaatimukset että puskurin mekaaninen kiinnitys olemassa oleviin korinosiin.

2 PINTOJEN 3D-MALLINTAMINEN

2.1 CAD-mallinnus

CAD-mallinnus on vanha teknologia, jota on hyödynnetty jo 50-luvun loppupuolelta asti. Suunnittelua on pystytty hyödyntämään useilla aloilla, kuten lääketeknologiassa, tuotannon suunnittelussa, tietotekniikassa ja jopa taiteessa. CAD-mallinnuksessa hyödynnetään geometrisia pintoja, sekä tietokoneille tarkoitettuja matemaattisia malleja. Tämä teknologia on todella hyödyllinen, koska sillä kyetään visualisoimaan objekteja tarkasti. Se mahdollistaa ennakoivan suunnittelun, vähentää prototyyppimallien fyysistä tuottamista ja on erinomainen esitysalusta käyttäjilleen. (Zhuming Bi & Ziaoqin Wang 2020, 37-38.)

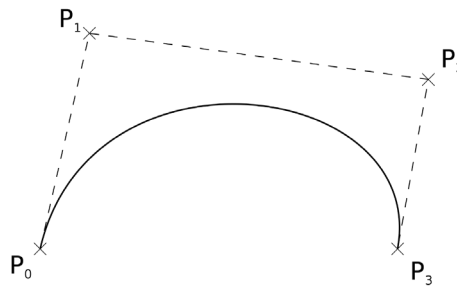
Mallinnuksessa käytetään pääasiassa viittä menetelmää. Yksinkertaisin näistä on rautalankamalli, joka käytännössä näyttää objektin pintojen reunat ja äärirajat. Usein myös tällä menetelmällä voi nähdä objektin vastapuolen reunat, mikä hankaloittaa objektin hahmottamista. Näistä viidestä menetelmästä monimutkaisin ja ylin taso on kiinteiden kappaleiden mallinnus. Tällä menetelmällä päästään näyttämään objektin muodot selkeästi. Näiden kahden menetelmän välissä on sovellettuja menetelmiä, kuten pinta- ja Boundary Surface -suunnittelu (B-rep) sekä avaruuden hajonta -menetelmä. Pintamallinnus hyödyntää useita pieniä suljettuja alueita, jotka ovat keskenään yhdessä muodostaen pinnan, mutta mallinnus ei määritä paksuutta pinnoille. B-rep -suunnittelu on käytännössä suljettu pintamallinnusmenetelmä, jossa menetelmä hakee määrättyä tilavuuden arvoa. Avaruuden hajonta -menetelmällä objekti esitetään isomorfisena solukokoelmana. Finite Element Analysis -simulaatiossa (FEA) tätä menetelmää suositaan, koska solujen koot ovat erittäin pieniä ja tarkkoja. Simuloinnista tulee erittäin tarkka ja todennukainen tällä menetelmällä. (Zhuming Bi & Ziaoqin Wang 2020, 63-70.)

Parametriset käyrät

Parametrisella käyrällä tarkoitetaan yhtä jatkuvaa polynomista käyrää. Englanniksi näitä käyriä kutsutaan termillä "spline curves". Käyriä on kahta eri tyyppiä, approksimatiivinen tai interpoloitu. Interpoloidussa käyrässä käyrän täytyy kulkea ohjauspisteiden kautta.

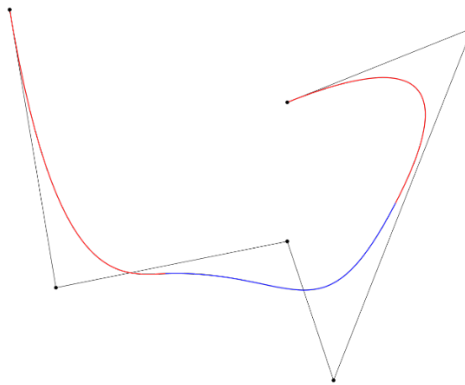
Approksimatiivisessa käyrässä käyrän ei täydy käydä ohjauspisteissä. (Timo Laakko 1998, 41.)

Bézierin käyrää voi kutsua approksimatiiviseksi, koska siinä ainoastaan lähtöpiste ja loppuspiste ovat pisteitä, jossa käyrä kulkee. Muut ohjauspisteet ohjaavat käyrää ilman, että käyrä itsessään leikkaa ohjauspistettä. (Timo Laakko 1998, 42.)



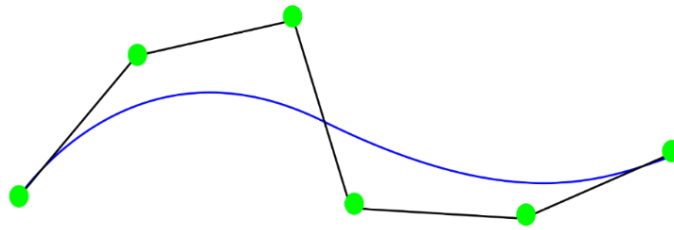
Kuva 1. Bézierin käyrä (Wikipedia Commons 2006a).

B-spline-käyrä on samankaltainen kuin Bézierin käyrä, mutta käyrää kyetään ohjaamaan ohjauspisteillä entistä enemmän. Käyrä myös luo tangentiaalisen käyrän alku- ja loppupisteelle. (Timo Laakko 1998, 43.)



Kuva 2. B-spline-käyrä (Wikipedia Commons 2013).

Non-uniform rational B-spline -käyrä (NURBS) on monimutkaisempi versio B-spline-käyrästä ja CAD-ohjelmat suosivat tätä käyrätyyppiä. Se on tietokoneille tarkoitettu matemaattinen malli, jota tietokoneet kykenevät ymmärtämään. Tietokoneet suosivat NURBS-käyriä rationaalisuutensa takia. Laskennalla pystytään esittämään poikkileikkauksia. (Timo Laakko 1998, 44.)



Kuva 3. NURBS-käyrä (Wikipedia Commons 2006b).

Parametriset pinnat

CAD-mallintamisessa pinnat määräytyvät monista parametrisistä käyristä luoden ruudukon. Jokainen pienempi ruudukko vaatii kaksi parametristä muuttujaa, U ja V . Muuttujat saavat arvoja nolasta ylöspäin, joka määrää lopullisen esitystavan. Tällä esitystavalla viitataan parametrisiin käyriin, kuten B-spline, Bézier tai NURBS. (Timo Laakko 1998, 44.)

2.2 Käyttökohteita

3D-malleja voidaan hyödyntää monilla aloilla. Se antaa vapauden suunnitella, muokata ja hienosäätää komponenttia ennen kuin se pitää valmistaa. 3D-mallinnus on laaja käsite. Se kattaa monia osa-alueita, esimerkiksi Computer Aided Reverse Engineering (CARE), Computer Aided Manufacturing (CAM) ja Computer Aided Design of Tools, Dies, and Moulds (TDMs). Koska 3D-malli on sähköisessä muodossa ja siihen on ainoastaan käytetty tietokoneita ja aikaa, se säästää paljon rahaa materiaali-, valmistus- ja testikustannuksissa.

CARE-suunnittelussa on tavoitteena käännteissuunnitella jokin tuote tai osa. Tätä 3D-mallia voidaan sitten hyödyntää tuotteen parantelussa tai uudelleen valmistuksessa, jos esimerkiksi tuotteessa on muutostarpeita. CAM-suunnittelussa sen sijaan hyödynnetään tietokoneita, kun halutaan syöttää CAD-malli NC-koneelle. TDM-suunnittelussa voidaan hyödyntää FEA-simulointia ja 3D-mallinnusta luoden erilaisia muotteja tuotantoa varten. (Zhuming Bi & Ziaoqin Wang 2020.)

2.3 Rhinoceros 6

Rhinoceros 6, tai yleisemmin kutsuttu ”Rhino 6”, on Robert McNeel & Associates kehittämä 3D-mallinnusohjelma. Toiminta alkoi vuonna 1992 Applied Geometry (AG) yrityksen kanssa NURBS geometrian kirjaston implementoinnista AutoCAD-ohjelmaan. Tämän ansiosta syntyi myös ohjelma nimeltä Sculptura, joka julkaistiin maaliskuussa 1993. Saman vuoden sisällä heinäkuussa oli jo valmis Sculptura 2, jossa NURBS oli sisälletty ohjelmaan. Sculptura 2 nimettiin kuitenkin Rhinoceros:ksi ja tästä alkoi laaja kehitystyö. Ensimmäinen Rhinoceros-versio julkaistiin lokakuussa 1998. Kuudes ja tässä opinnäytetyössä käytetty versio julkaistiin helmikuussa 2018. (McNeel Wiki 2020.)

Rhino on kehitetty NURBS-laskennan pohjalta eli ohjelmalla voidaan esimerkiksi luoda, dokumentoida, analysoida ja renderöidä NURBS-pintoja, käyriä, kiinteitä objekteja, pistepilviä ja pintaverkkoja. Ohjelmalla pystyy tekemään näitä prosesseja, kunhan käytettävä tietokone on tarpeeksi tehokas. Ohjelma pyrkii käyttämään tietokoneen prosessoria sekä näytönohjainta tasapainotetusti. (McNeel Wiki 2020.)

Rhinolla kyetään tekemään aikaisemmin mainittuja käyriä, pintoja tai pistepilviä. Ohjelmalla voidaan luoda monimutkaisia malleja käyttämällä monia työkaluja rinnakkain, esimerkiksi lataamalla pintaverkkotiedoston komponentista, johon laskostetaan pistepilvi päälle. Pisteistä, jotka mukautuvat pinnan muotoihin, voidaan luoda yhtenäinen pinta ja pinnasta voidaan tämän jälkeen luoda negatiivimuotti. Tämän muotin tiedosto voidaan myös viedä ulos toisiin tiedostomalleihin, kuten Standard for the Exchange of Product Data -tiedostoon (STEP-tiedosto), joka voidaan avata muilla CAD-ohjelmilla. Näitä malleja voidaan myös viedä CAM-ohjelmiin. (File Info 2019.)

Rhinon käyttöliittymän suunnittelufilosofiassa näkyy tietynlainen vanhakantaisuus, sillä ohjelman käyttöliittymään on laitettu aivan kaikki mahdollinen näkyville. Ohjelmasta puuttuu nykyaikainen esteettisyys. Rhinosta löytyy myös niin sanottu ”command prompt” -rivi, johon voi syöttää manuaalisesti eri komentoja, kuten ”Sweep2” tai ”BlendCrv”.

Rhinoa käytetään joissain pienemmissä yrityksissä, sillä ohjelman lisenssit ovat yleensä huokeampia kuin kilpailijoiden. Rhinoa ei enää näe hyödynnettävän paljoa ajoneuvoteollisuudessa. Yrityksillä on sopimuksia muiden ohjelmien kehittäjien kanssa, mikä mahdollistaa yhteistyön keskenään. Joissain ohjelmissa on parempi Product Data Management -järjestelmä (PDM-järjestelmä) alla kuin Rhinossa tai niihin on kyetty implementoi-

maan PDM-järjestelmiä mukaan. Esimerkiksi Siemens NX11 ja TeamCenter ovat kehittäneet käyttöliittymänsä keskenään sopiviksi. PDM-järjestelmillä kyetään hallitsemaan useita eri komponentteja ja kokonaisuuksia (Marco Gobetto 2014).

3 KOORDINAATTIMITTAUSLAITE

3.1 3D-skannaus

3D-skannaus on erittäin tehokas työkalu käännteissuunnittelussa. Sillä kyetään mallintamaan tarkka 3D-malli jo olemassa olevasta objektista, jonka muodot ovat monimutkaiset ja mahdottomat mitata perinteisin mittavälinein. 3D-skannauksen voi toteuttaa joko moinipiste- tai viivaskannauksella (Kuva 4). Lähes kaikissa nykyaikaisissa 3D-skannereissa, jotka käyttävät viivaskannaus menetelmää, käyttävät 100 000-2 000 000 mittapistettä sekunnissa mittaavaa laseria.



Kuva 4. T-SCAN -järjestelmän viivaskannaus polkupyöränrungosta (Hands on Metrology 2020).

Pisteskanauksessa hyödynnetään mittasensoria varren päässä, joka kerää dataa kontaktilla (Kuva 5).



Kuva 5. Zeiss T-Point pisteskanneri käytössä (Hands on Metrology 2020).

Ennen kuin skannausdataa voidaan hyödyntää, se täytyy suodattaa, siivota ja tasoittaa. Raakadata koostuu sadoista miljoonista mittapisteistä ja yksinään niitä ei pysty käyttämään. Tätä varten 3D-skannausta varten on usein omat ohjelmat, jotka näitä mittapisteitä pystyvät analysoimaan ja siistimään. Ohjelmat usein kykenevät automaattisesti määrätyillä parametreilla tasoittamaan pistepilviä ja suodattamaan heijastumia. Usein viimeinen vaihe on tuottaa polygoniverkosto (polygon mesh). Polygoniverkosto koostuu pienistä kolmioista, joita voi olla lukumäärältään sadoista tuhansista miljooniin. Tämä määrä vaihtelee komponentin koosta riippuen.

3.2 Käyttökohteita

3D-skannerin hyöty on suurimmillaan, kun pyritään todentamaan monimutkaisten komponenttien mittapisteitä, johon perinteiset mittavälineet eivät kykene. Coordinate Measurement Machine (CMM) on tehokas laite, joka sisältää monia eri tapoja mitata olemassa olevia objekteja. CMM voi hyödyntää piste- sekä 3D-skannausjärjestelmiä, jolloin mittaus toteutuu joko keräämällä monta mittapistettä pisteskanneria käyttämällä tai 3D skannerilla, joka skannaa koko tuotteen. 3D-skannauksessa voidaan käyttää kiinteitä tai liikutettavia mittalaitteita. Jos tuotteesta halutaan saada tarkkaa ja vertailtavissa olevaa mitatdataa, voi tällöin hyödyntää koordinaattimittauslaitetta, joka teoriassa takaa yhteneväisen datan ulosannin skannatusta tuotteesta. 3D-skannaus on yleistynyt yrityskäytössä, koska se antaa joustavuutta komponenttien osalta.

Molemmilla käyttötavoilla on toisaalta myös rajoitteita. Esimerkiksi 3D-skanneria käytettäessä pitää olla erityisen tarkka skannausnopeuden, mittausalueen ja mahdollisten pinnan heijastumien kanssa. Sen sijaan, pisteskannaus on usein nopeampaa ja tarkempaa, mutta ei niin sopeutuva vaihtelevan kokosiin ja keskenään erilaisiin komponentteihin. Tämä jäykkyys korostuu erityisesti, kun käytetään robottia, joka mittaa komponentin. Robotin käyttö vaatii ajo-ohjelman suunnittelun ja validoinnin. 3D-skannaus antaa vapauden skannata suurempiakin tuotteita ilman pisteskannauksen rajoitteita. (Zhuming Bi & Ziaoqin Wang 2020, 197-212.)

3D-skannereita voidaan hyödyntää myös tilanteissa, joissa ei ole mahdollista saada skannattavaa tuotetta mallinnettua järkevästi perinteisin tavoin. Tällaisia kohteita voivat olla todella suuret komponentit tai kokoonpanot, josta halutaan tarkka ulkokuoren skannaus. Objektit, joihin ei haluta koskea sormin tai minkään työkalun kanssa voivat myös

hyödyntää 3D-skanneria pinnan mittauksessa. 3D-skannereita käytetään lääketeollisuudessa sekä museointitarkoituksessa, jossa pyritään välttämään kosketusta kappaleeseen (Kuva 6) (Mid-Pacific 2017).



Kuva 6. Toisen maailmansodan aikainen juomapullo 3D-skannattuna (Mid-Pacific 2017).

3.3 Artec 3D

Artec on kehittänyt 3D-skannaustyökaluja erilaisille toimialoille vuodesta 2008 lähtien. Työkaluja heiltä löytyy monta vuosien varrelta mm. "Broadway" (2009), "Eva" (2012), "Space Spider" (2015) ja "Micro" (2019). Nämä ovat erilaisia käsikäyttöisiä sekä pöydälle sijoitettavia 3D-skannereita. (Artec 3D 2020a.)



Kuva 7. Artec Leo v2 käsikäyttöinen 3D-skanneri (Artec 3D Leo 2020b).

Artec:n tarjoamat käsikäyttöiset 3D-skannerit soveltuvat moniin eri toimialoihin kuten suunnittelutehtäviin ja tutkimuskäyttöön tai taiteen hyödynnettäväksi. Esimerkiksi Artec:n "Eva" ja "Spider" käsikäyttöisiä 3D-skannereita hyödynnettiin Alankomaiden laivaston laivojen eri komponenttien skannaukseen (Naval Technology 2017).

Artec 3D myös tarjoaa käyttöliittymän datan analysointia varten. Studio 14:lla pystytään analysoimaan 3D-skannerin luomaa pistepilveä ja siistimään sitä. Siistimisellä pyritään sulkemaan raot, suodattamaan heijastukset ja tasoittamaan pintaa. Näitä parametrejä kyetään säätämään, jotta tiedostoista ei tulisi liian isoja ja tehokas mallintamiseen tarkoitettu tietokone kykenisi vielä käsittelemään niitä. (Artec 3D 2020b.)

4 TYÖN KOHDE

Mallinnustyön kohteena on kilpa-auto, jonka korin osat on suunniteltu ilman moderneja CAD-menetelmiä. Kilpa-autoa kehitetään jatkuvasti ja siinä hyödynnetään monia erilaisia menetelmiä sekä tekniikoita, joista uusimpana lisäyksenä 3D-skannauksen tulokset ja työstä saatu 3D-malli. Kanta-autona on vuoden 1989 Suzuki Swift 1300 Gti Mark II. Auto on rakennettu AKK - Motor Sport ry:n (Autourheilun kansallinen keskusliitto - Motor Sport ry) Special Saloon -luokkaan. Special Saloon -tekniset määräykset ovat laaja määräyskokoelma, johon perehdytään tässä työssä vain korinosien suunnittelun ja niiden valmistuksen osalta.



Kuva 8. Suzuki Swift 1300 Gti Mark II Alastaron varikkoalueella (Riku Lintervo 2019).

AKK:n ”Autojen tekniset määräykset ja kuljettajien ajovarusteet, Liite J” Special Saloon -autoluokan säännöt sallivat kokonaisleveyden kasvattamisen enintään 2000 mm:n asti. Leveys mitataan korin paneeleista. Akseliväliä saa muuttaa ± 50 mm. Maavara määräytyy siten, että mikään rakenteellinen osa ei saa koskettaa maata, kun renkaat tyhjenetään jommalta kummalta puolelta.

Ilmanohjaimien lisääminen eteen tai taakse on sallittua, mutta niitä sääntelee myös tarkat säännöt. Edessä sijaitseva ilmanohjain saa ulottua eteenpäin enintään 10 % akselivälistä, mutta kuitenkin enintään 200 mm auton alkuperäisestä etuosan pinnasta. Auton lokasuojien muoto ja materiaali on vapaa. Autossa tulee olla yksi pari valkoisia ajovaloja. Jos autossa ei käytetä alkuperäisiä valoja, kuten tässä kohdeautossa ei käytetä, täytyy ajovalon olla teholtaan 55 W. (AKK - Motor Sport ry 2021.)

Kilpa-auton kokonaisleveyttä on kasvatettu 240 mm alkuperäisestä korileveydestä ja etuakseliinjaa on viety 45 mm eteenpäin alkuperäiseen verrattuna. Maavaraa on pienennetty 110 mm. Jo nämäkin muutokset pelkästään ovat vaatineet useiden korinosien muokkausta. Uudet korinosat on valmistettu laminoiden erilaisia hiili- sekä aramidikuituja ja sidosaineena epoksihartseja. Auton korinosat on valmistettu käsityönä avoimella muottitekniikalla alipainesäkitystä käyttäen.

Säännöt sallivat siis puskurin muodon muutoksen ja uuden osan valmistuksen. Autosta puuttuu vielä joitakin korinosia, yksi niistä on tässä työssä mallinnettu etupuskurin ala-osa. Muotojen suunnittelussa pidetään puskurin muodot yksinkertaisina ja sääntöjen mukaisina. Autosta on konepelti, joka on samaa osaa etulokasuojien kaarien ja puskurin yläosan kanssa. Irrottaessa nämä osat lähtevät irti kokonaan paljastaen moottoritilan. Autosta on poistettu alkuperäiset ajovalot ja vilkut.

5 3D-SKANNAUS JA POLYGON-PINTOJEN KÄYTTÖ MALLINTAMISESSA

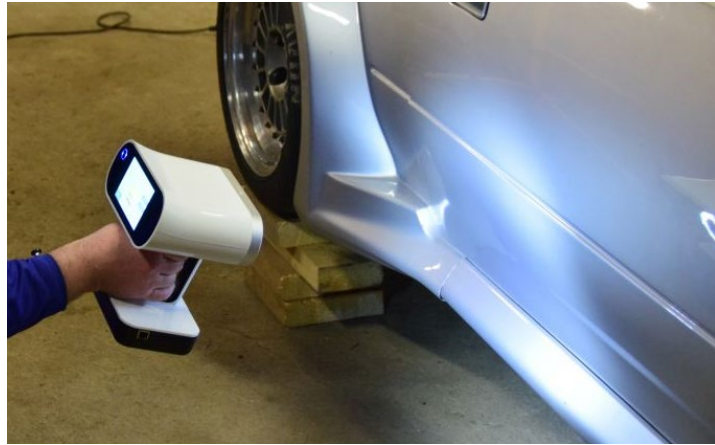
Mallinnustyö alkaa käsiteltyjen polygon-pintojen lataamisella Rhinoon, analysoimisella sekä muokattavien pintojen luomisella. Seuraavassa tekstikappaleissa on vaihekuvia, jotka selkeyttävät tekstiä.

5.1 Skannausprosessi

Pinnat skannattiin Artec Leo käsikäyttöisellä 3D-skannerilla, joka kykenee parhaimmillaan 0,2 mm 3D-tarkkuuteen. Tässä ei käytetty tarkinta asetusta, koska se ei sovellu käyttötarkoitukseen ja tämän kokoluokan esineen skannaukseen. Lopputuloksen tarkkuuteen pystytään vaikuttamaan vielä skannaustyön jälkeen, kun skannausdataa siivotaan ja suodatetaan. Suurempi tarkkuus myös vaikuttaa tiedostojen kokoon. Lohkot koostuivat puskurin yläosasta, konepellistä, oikeasta sekä vasemmasta etuneljänneksestä.

Skannausprosessin alussa Artec Leo ei tarvitse erikseen kalibroimista. Skanneri luo oman projektin joka kerta, kun skannausprosessi aloitetaan. Artec 3D suosittelee hyvää valaistusta skannausta varten, mutta skannaustyön aikana huomattiin, että liika kohdevalojen määrä aiheuttaa heijastavia pintoja, joita 3D-skanneri ei kykene mittaamaan. Tämä vaati hieman tasapainottelua valaistuksen kanssa.

Skannauksen tuottama data ei ole sellaisenaan CAD-mallinnusohjelman kannalta käytökelpoista dataa. Ne täytyy muuttaa skannatusta datasta polygon-pinnoiksi. Jotta CAD-ohjelmat kykenevät ymmärtämään käsiteltyjä skannausdatoja, ne tallennetaan stl-tiedostoina (ALL3DP 2019). Auton eri paneelien skannaus oli tehtävä osissa, koska tiedoston koko kasvoi nopeasti todella suureksi ja käytössä oleva tehokäyttöön tarkoitettu tietokone ei kyennyt käsittelemään tiedostojen kokoluokkia luotettavasti. Tämän ansiosta stl-tiedostot tulivat tallennetuksi osissa ja jokaisen tiedoston koko vaihteli 250 Megatavun - 350 Megatavun välillä. Skannattujen pintojen raakadata lähenteli 110 Gigatavun kokonaismäärää.

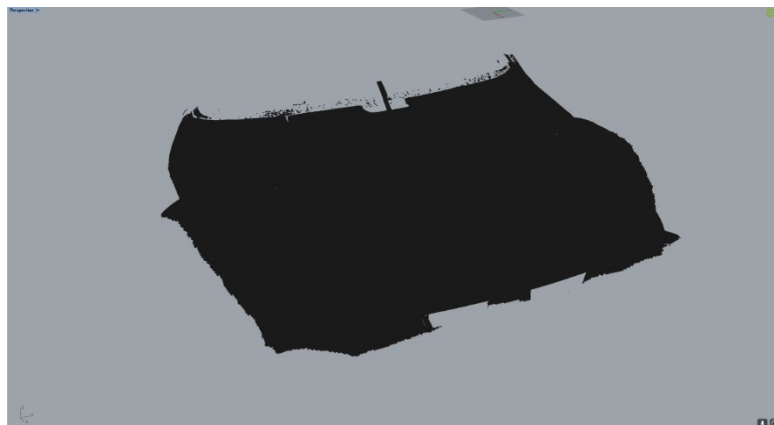


Kuva 9. Artec Leo käytössä (Riku Lintervo 2019).

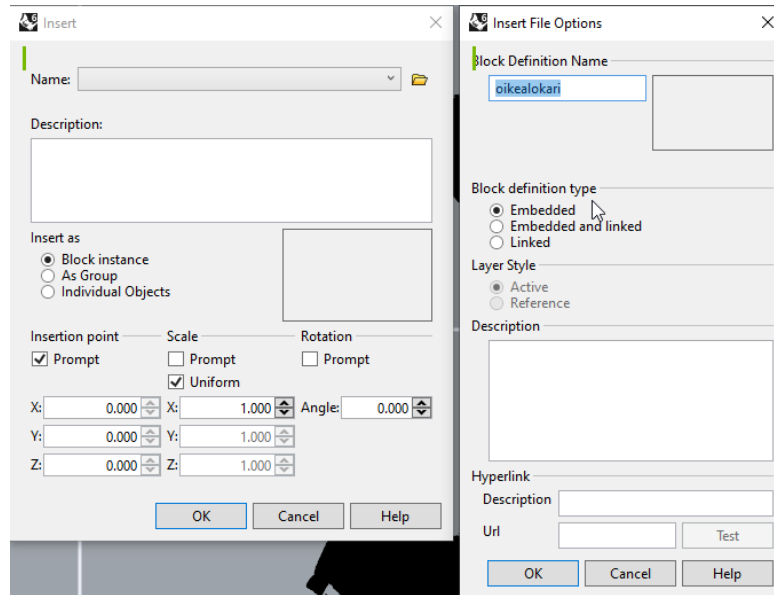
5.2 Skannattujen polygon-pintojen lataus Rhinoon

Kun skannatut tiedostot on käyty läpi Artec Studio 14 -ohjelmalla ja muutettu stl-tiedostomuotoon, ne voidaan tuoda Rhino 6 -ohjelmaan käyttämällä toimintoa "Insert". Toiminto avaa ruutuja, joista voi valita missä muodossa stl-tiedoston haluaa lisätä. Työssä lisättiin polygon-pinnat "Block instance" -muodossa, koska polygon-pinnat ovat auttamaan ainoastaan pintojen muotoilussa.

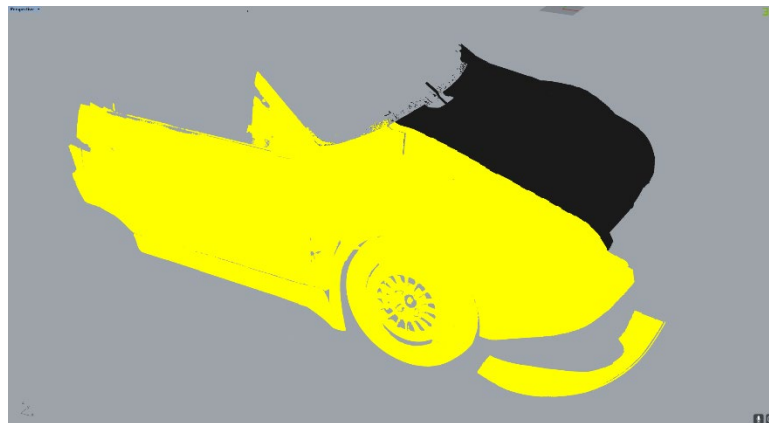
Erillisiksi tiedostoiksi tallennettujen pintojen kohdistus on erittäin tärkeää tässä vaiheessa. Jos pintojen kohdistus epäonnistuu tässä vaiheessa eikä sitä korjata ajoissa, voi lopputulos näyttää väärältä. Huonosti kohdistetut pinnat voivat myös vaikuttaa skannaustarkkuuteen, jos halutaan hyödyntää mittausdataa.



Kuva 10. Polygon-pinta tuotu Rhinon työtilaan.



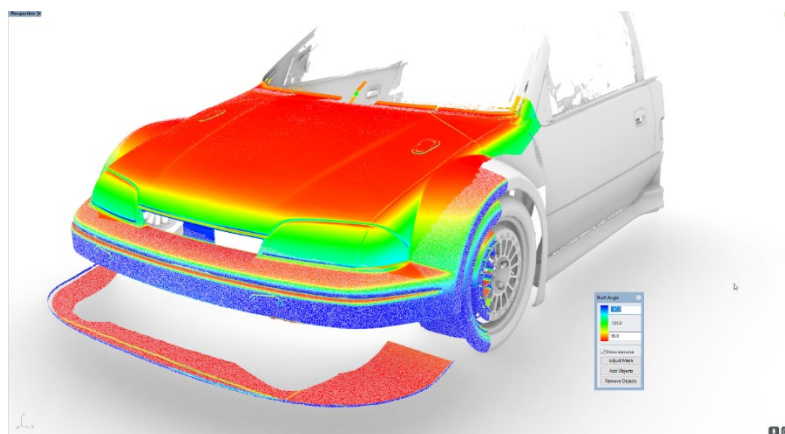
Kuva 11. Insert-asetukset.



Kuva 12. Etuoikean korinosan skannausdatan linjaus konepeiton polygon-pintaan.

5.3 Polygon-pintojen analysointi

Jotta polygon-pinnoista saadaan selkoa, voidaan hyödyntää työkalua "Draft Angle". Se värjää polygon-pinnan sen mukaan missä asennossa kyseinen polygoni on (Kuva 13). Työkalua käytettiin osien muotojen ilmaisussa, koska polygon-pinnat latautuvat yhtenä värinä. Vaikka väriä vaihdettaisiin, polygon-verkko näyttää yhdeltä erottamattomalta kalsalta.



Kuva 13. "Draft angle" -työkalulla näkee polygon-pintojen muodot.

5.4 CAD-piirtäminen

Pintojen luomiseksi työssä käytettiin useita erilaisia Rhino 6:n työkaluja. Seuraavassa tekstikappaleessa esitellään työn aikana eniten käytetyt työkalut. Jokaista työkalua käytettiin eri vaiheissa eri tavoilla ja joskus ei käytetty lainkaan. Oikealla työkaluvalinnalla ei ollut vain työtä helpottava vaikutus, vaan se saattoi joissain tilanteissa ratkaista jopa piirrottyön onnistumisenkin. Työkalujen käytön havainnollistamiseksi tekstiin on lisätty kuva-kaappauksia eri piirrottilanteista.

5.4.1 Käyrien luonti

Control point curve

Työssä käytettiin paljon "Control point curve" -työkalua. Työkalulla kyetään piirtämään käyrät, jotka auttavat pintojen muovaamisessa. Työkalulla voidaan piirtää myös suoria viivoja, jos valitaan ainoastaan aloitus- ja lopetuspisteet. Työkalun paras lopputulos saavutetaan, kun piirretään itse haluttu käyrän muoto.

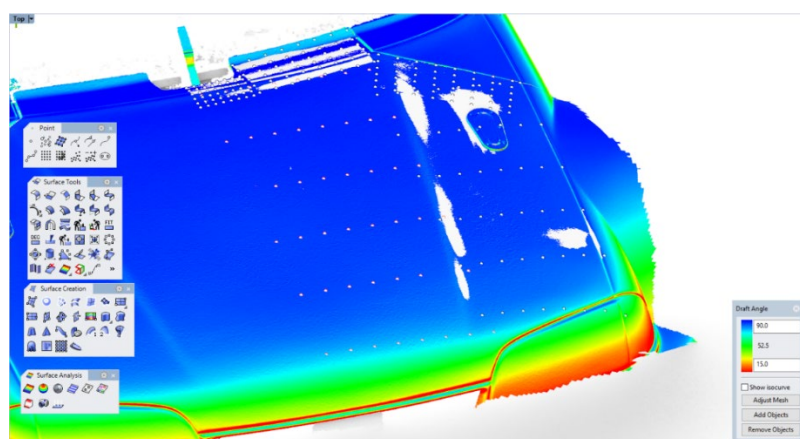
Curve: Interpolate points

”Curve: Interpolate curves” -työkalu on oivallinen työkalu, jos halutaan tarkasti määrittää aloitus- ja lopetuspisteet, mutta viivalle halutaan myös kontrollipisteitä. Työkalu luo halutun määrän kontrollipisteitä käyrälle tai viivalle. Työssä käytettiin usein neljästä kahdeksaan kontrollipistettä. Tällöin niiden määrä on hallittavissa.

5.4.2 Pintojen luominen

Drape-over point cloud

”Drape-over point cloud” -työkalulla pystytään ikään kuin laskostamaan pistepilvi polygon-pinnan päälle (Kuva 14). Työkalu vaatii käyttäjältä pisteiden määrän määräämistä U ja V suunnissa, muulloin vakio valintana on 1600:n pistepilvi (40 pistettä U ja V suunnissa). Syy, miksi tämän työkalun kanssa kannattaa käyttää pienempää määrää, tulee ilmi seuraavassa kappaleessa ”Surface from points” -työkalun kuvauksessa.



Kuva 14. Pistepilven laskostus etuosan polygon-pinnan päälle.

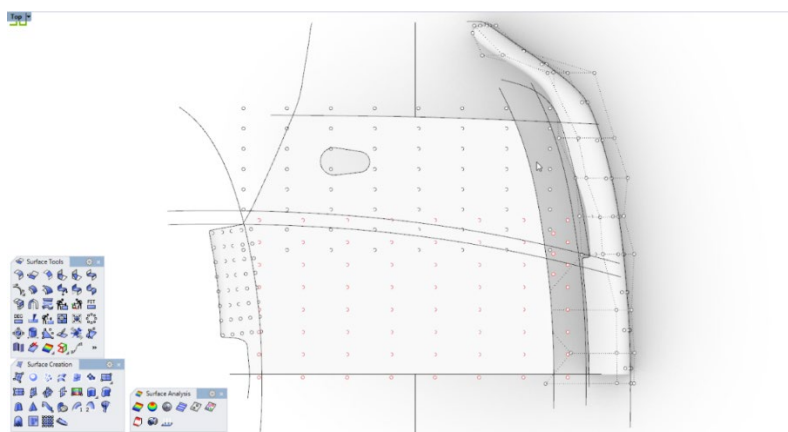
Surface from points

Työkalulla pystytään luomaan pinta pisteistä. Jos pistepilvi on laskostettu sopivasti polygon-pinnan päälle, työkalu luo hyvin tarkan ja tasaisen pinnan. Tämä vaatii hieman kärsivällisyyttä, sillä työkalu vaatii järjestelmällisen tavan valita kaikki pisteet. Jos pisteet

tulevat valituksi väärässä järjestyksessä, pinnasta voi tulla epätarkka tai jopa täysin vääränlainen.

Extend surface

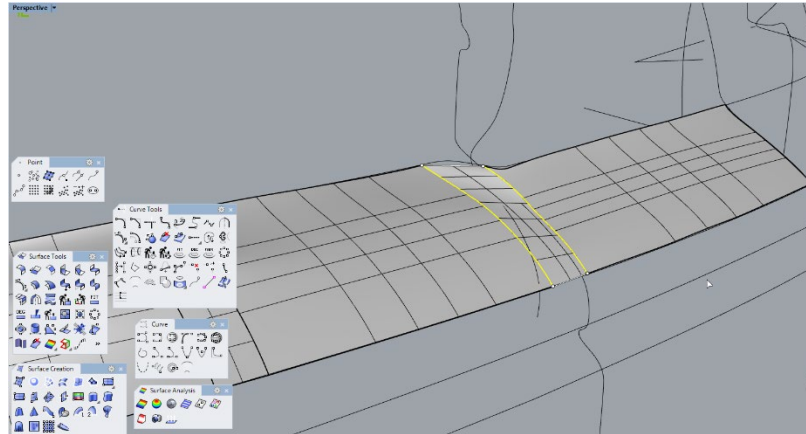
Jos pinnan reunat eivät mene täysin vastakkain, ei tarvitse aloittaa kokonaan alusta pinnan luontiprosessia. ”Extend surface” -työkalulla pystytään venyttämään pintaa pidemmälle ja hienosäätö voidaan tehdä tai raja-arvot voidaan luoda käyrillä. Käyrät määräävät leikattavat reunat, jolloin pinnan reunasta tulee selkeä ja yhdenmukainen (Kuva 15). Tämä toimintatapa on huomattavasti helpompaa ja nopeampaa eikä pistepilviä tarvitse sovittaa tarkasti halutulle alueelle.



Kuva 15. Ohjauk käyrillä kyetään leikkaamaan ylimääräiset pinnat pois.

Loft

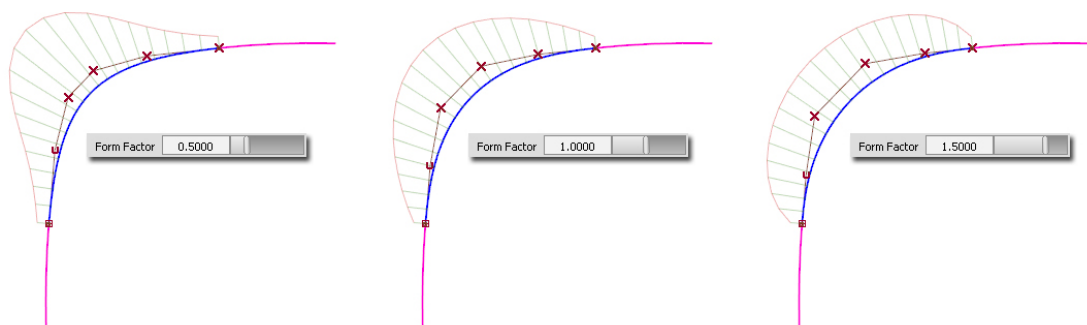
”Loft” on yksinkertainen työkalu, koska sillä voidaan luoda pinta viivojen tai muiden pintojen reunojen mukaisesti. Työkalu soveltuu parhaiten yksinkertaisiin pintoihin, jotka ovat rajattu tarkasti jo valmiiksi. Jos ”Loft”-työkalulla haluaa parhaan tuloksen, haluttu pinta tarvitsee olla yksinkertainen muodoltaan ja selkeästi määriteltynä. ”Loft”-työkalu luo suoran pinnan määrättyjen raja-arvojen puitteissa. Kuvassa 16 näkee, kuinka ”Loft”-työkalu vetää suorinta reittiä vastapintaan kiinni eikä luo tarvittua kaarevuutta. Samasta kuvasta näkee ohjauk käyrän, johon pinna ei yllä täten luoden suoran reunan.



Kuva 16. "Loft" ei ota huomioon pinnan muotoa, vaan luo suoran pinnan.

Muodon määrittäminen

Pintojen välille voidaan määrittää erilaisia muotoja. Näille muodoille on omat säännöt, jotka määrittävät miten muoto kulkee kontrollipisteiden kautta. Säännöillä voidaan määrittää, halutaanko, että kyseinen yhdistymispinta perustuu absoluuttiseen lokaatioon, tangenciaaliseen sääntöön tai on NURBS-käyrän mukainen. Näitä asetuksia voi myös ajatella, G0, G1, G2, G3 -sääntöinä eli kuinka käyrät tai pintojen muodot linjautuvat yhteen luoden säteen niiden välille (Autodesk Alias Automotive 2014).

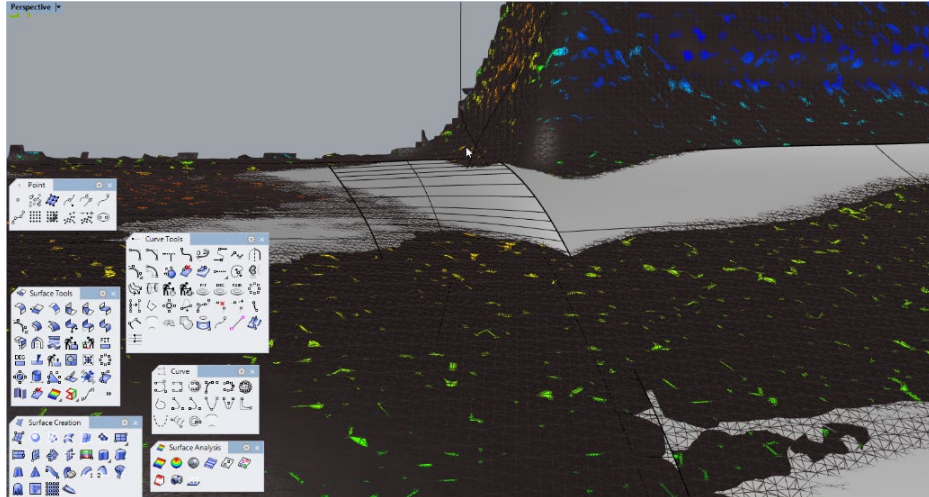


Kuva 17. Käyrien ja pintojen kaarevuus kuvitettuna (Autodesk Alias Automotive 2014).

Blend surface

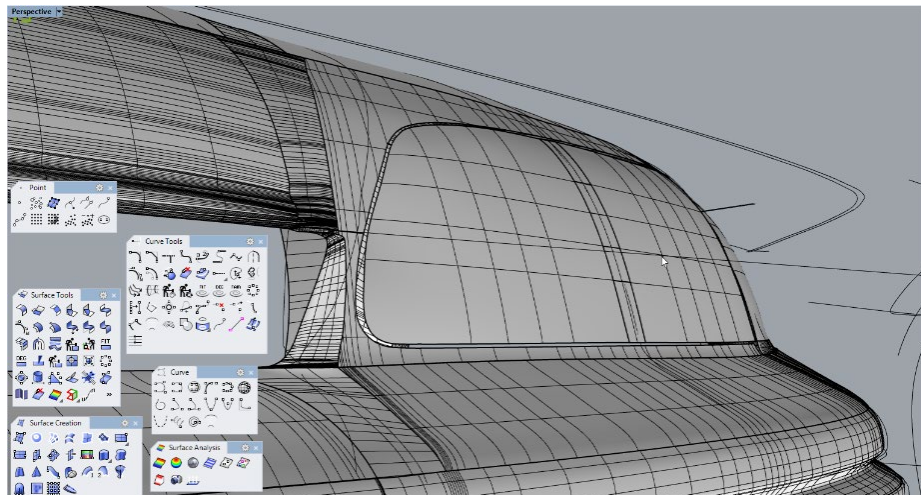
"Blend surface" on tässä työssä yksi eniten käytetyistä työkaluista, koska sillä pystytään saamaan kaksi pinnan reunaa tai isompaa väliä kiinni sulavasti. Työkalu luo pintojen

väliin uuden pinnan. Työkalu ei leikkaa olemassa olevaa pintaa, vaan muotoilee uuden pinnan muutosäännön mukaan. Tämä voi aiheuttaa yliarvioita, mutta työkalulla voidaan myös hienosäätää pinnan kaarevuuden suuruutta, jolloin saadaan haluttu pinnan muoto (Kuva 18). Yliarvioilla tarkoitetaan, että ohjelma ymmärtää pintojen välisen raon väärin, jolloin tangentiaalinen pinta ulottuu reilusti yli halutun alueen.



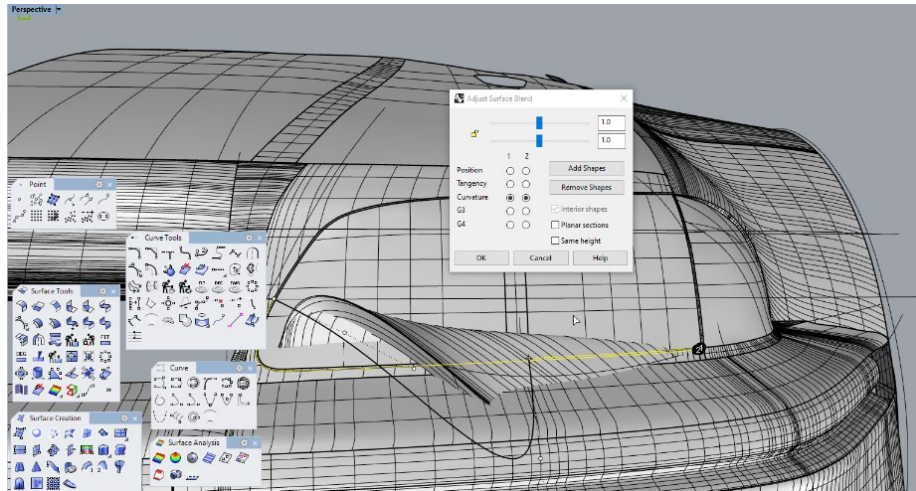
Kuva 18. "Blend surface" -työkalulla luodaan pinta olemassa olevan polygon-pinnan mukaisesti.

Kuvassa 19 on esitetty tilanne, jossa ajovalon pinnan ja etuosan pinnan välillä on rako ja tasoero.

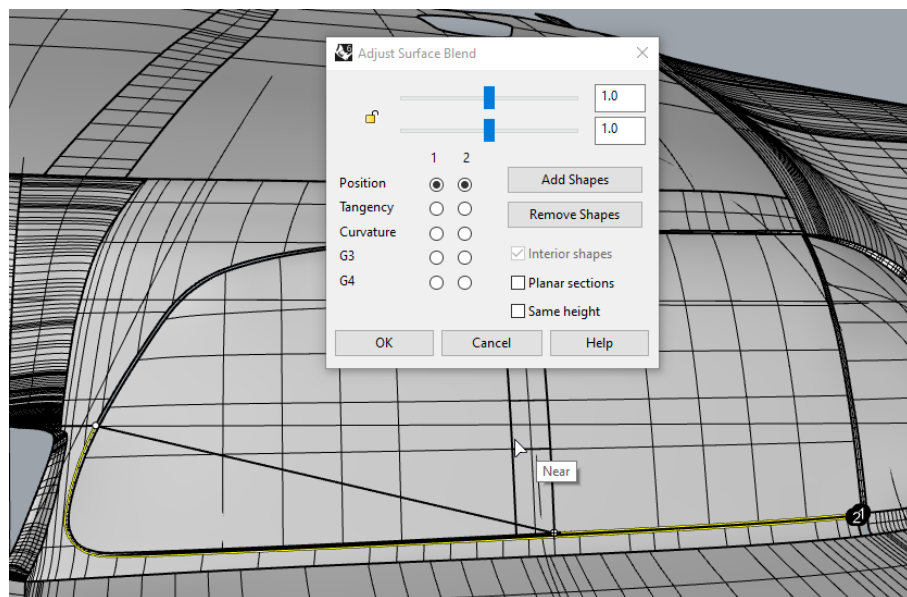


Kuva 19. Ajovalon pinnan ja etuosapinnan välissä oleva rako.

Työkalulla pystytään hienosäätämään alku- ja lopetuspisteet sekä väliin syntyvän uuden pinnan muotoa sopivaksi. Työkalu antaa myös valita, että tuleva pinta mukaillee valittua pinnan reunaa.

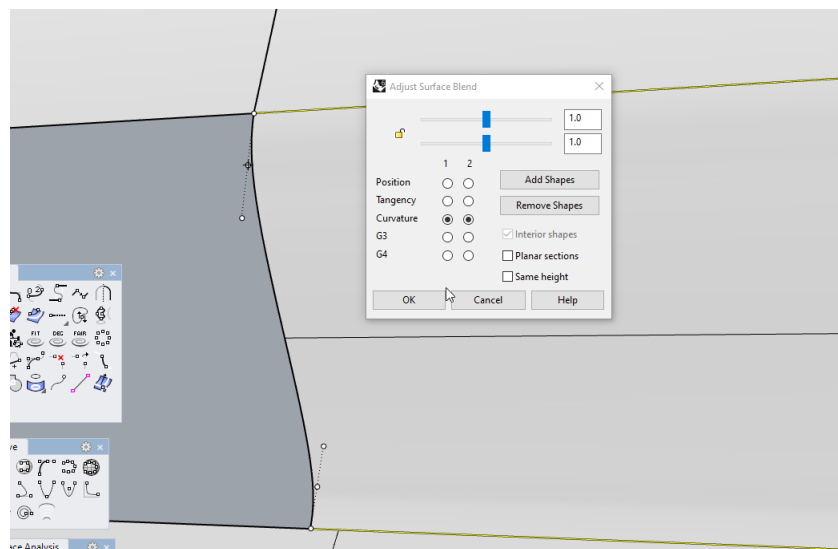


Kuva 20. ”Blend surface” -työkalulla kytetään valitsemaan halutun pinnan reunat.



Kuva 21. ”Blend surface” -työkalulla asetuksia sekä alku- ja lopetuspisteitä voidaan säätää.

Blend surface -työkalulla voidaan hienosäätää kaarevuuden muotoa ja kokoa siirtämällä kontrollipisteitä manuaalisesti (Kuva 22). Asetuksesta riippuen kontrollipisteiden määrä muuttuu. Kaarevuuden muotoa ja kokoa voi myös säätää numeroarvoilla, mutta usein tämä säätö jää riittämättömäksi.



Kuva 22. Alku- ja lopetus pisteet säädetty samaan linjaan, mikä mahdollistaa muodon säädön.

Surface from 3 or 4 curves

Tämä työkalu toimii valitsemalla kolme tai neljä viivaa tai pinnan reunaa. Reunojen ei tarvitse olla kiinni toisissaan, mutta varmistamalla leikkauskohdat luodusta pinnasta tulee tarkka. Työkalua käytettiin usein ns. välialueissa, jos luotava pinta on yksinkertainen tai selkeästi määritelty.

Sweep2

”Sweep2”-työkalu on käyttökelpoinen, kun piti luoda monimutkainen pinta. Samoin ”Sweep2”-työkalua käyttämällä voidaan luoda helposti ja nopeasti isoja pintoja. Työkalu vaatii kaksi ohjauk käyrää ja yhden määräävän muotoviivan. Ohjauk käyrän ei tarvitse olla ohjauk käyrä, vaan se voi olla myös pinnan reuna, jolloin yhdyskohdasta tulee tangentiaalinen. Samoin poikkileikkaus tai profiilikäyrä voi olla pinnan reuna. Kuten nimi viittaa, työkalulla voidaan tehdä ikään kuin lakaisevia pintoja. Monimutkaiset muodot onnistuvat myös tällä työkalulla hyvin. Työkalun kanssa pitää olla tarkka, mihin profiilikäyrän päädyt päätyvät, koska parempia lopputuloksia saadaan, kun profiilikäyrän viivat ovat kontaktissa ohjauk käyrien tai pinnan reunojen kanssa.

Rebuild curves

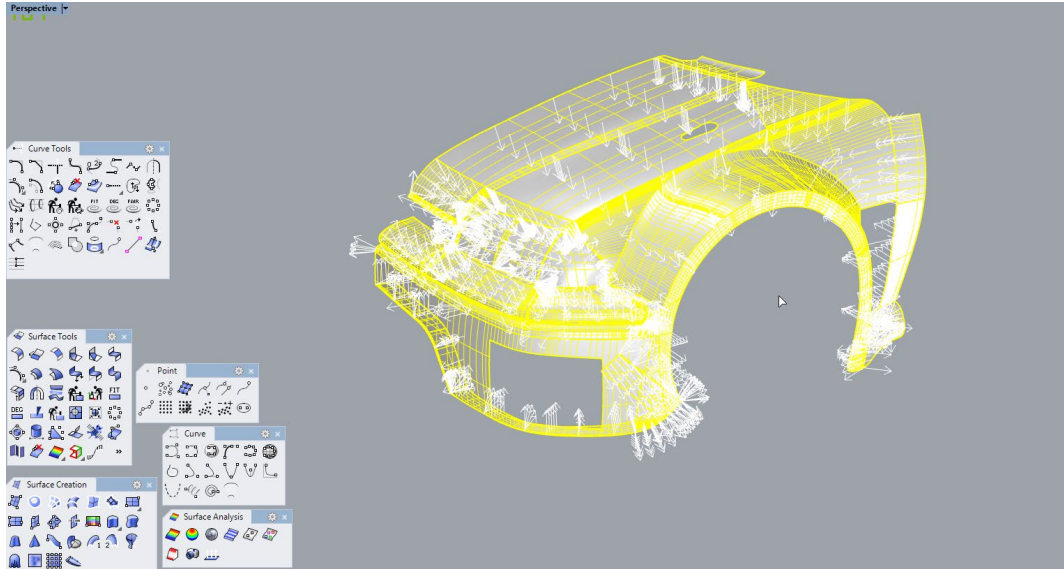
Käyrien uudelleenrakennustyökalua "Rebuild curves" on käyttökelpoinen, jos käyttää työkaluja kuten "Offset" tai "Project Curves". Usein niiden käytön jälkeen uudesta käyrästä löytyy satoja kontrollipisteitä. Jos käyrää haluaa hienosäätää niiden kontrollipisteiden avulla, se tulee viemään aikaa. Uusien kontrollipisteiden määrää voi itse säätää asetuksia vaihtamalla. Työssä käytettiin usein 10-25 kontrollipistettä riippuen käyrän pituudesta ja monimutkaisuudesta.

OffsetNormal

"Offset"-työkalun lisäksi käytössä oli "OffsetNormal"-työkalu. Työkalulla päästään luomaan käyriä, jotka pitäisi sisentää monesta eri suunnasta. Työkalulla valitaan käyrät, jotka halutaan siirtää, sekä valitaan pinta, joka määrää uusien käyrien suunnat. Valittu pinta voi olla kaareva, jolloin sisennys tapahtuu monesta perspektiivistä.

OffsetSrf

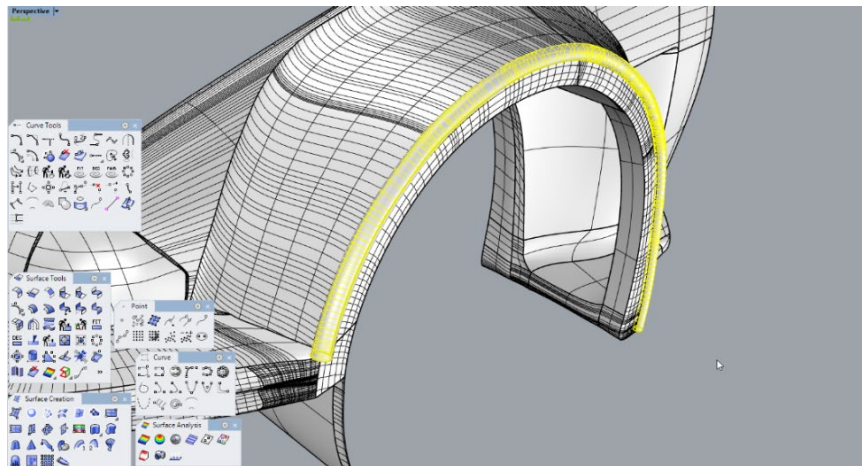
"OffsetSrf"-työkalulla voidaan luoda pinnoille paksuutta. Työkalulla voidaan määrätä suunta sekä halutaanko pinnoista umpinaisia vai ainoastaan kopioida pinta tietyn etäisyyden päähän. Tätä työkalua käytettiin mallinnuksen lopussa, jotta malli saisi realistisemmän ulkonäön. Työkalu pyrkii automaattisesti määrittämään suunnan mihin laajentua, mutta painamalla eri pintoja se vaihtaa suuntaansa. Pintojen suunnan voi valita painamalla yksittäistä pintapalaa. Kun kaikki pinnat on suunnattu samansuuntaisiksi, pystytään toteuttamaan työkalun ajo. Työkalun ajo voi viedä aikaa ja siihen vaikuttaa, kuinka monta pintaa on valittu kerralla. Esimerkiksi puolikas etuosa vei aikaa noin 2 minuuttia.



Kuva 23. Pinnolle voidaan luoda paksuutta käyttämällä "OffsetSrf"-työkalua.

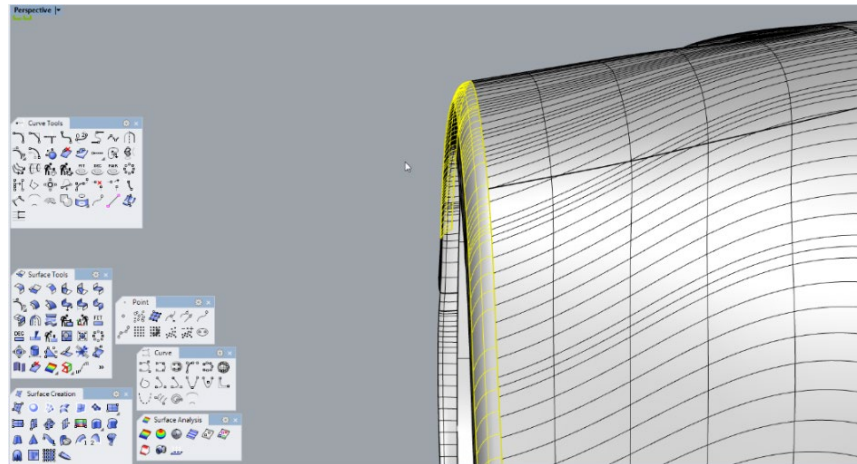
Fillet

Pyöristettävien kulma-alueiden tekemiseksi kannattaa luoda ensin pinnan reuna mukainen putki. Putki leikkaa tällöin molemmat pinnat tasaisesti, koska putken keskipiste kulkee pintojen leikkauskohdassa (Kuva 24).



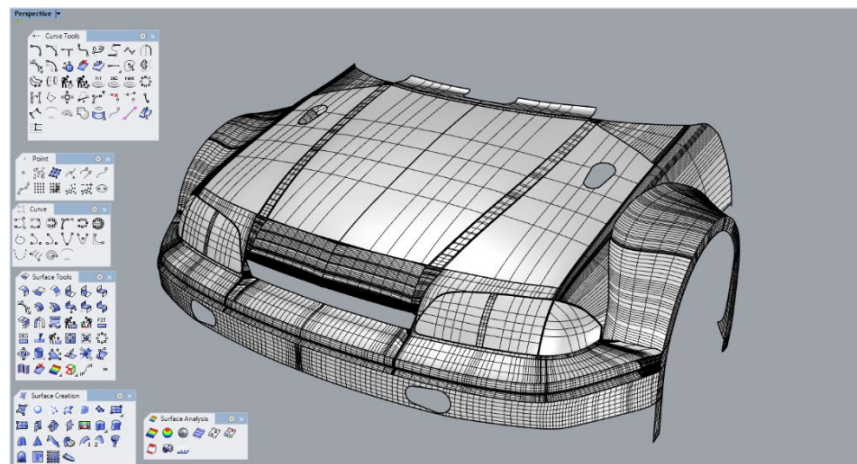
Kuva 24. Leikkauskohtaan luodaan putki, jolla halkaistaan pinnat.

Kun putki on luotu, sillä voidaan jakaa molemmat pinnat omiksi irrallisiksi pinnoiksi. Tämän jälkeen putki ja sen sisälle jääneet jaetut pinnat voidaan poistaa. Tämän jälkeen pyöristys voidaan toteuttaa käyttämällä "Blend Surface" -työkalua (Kuva 25).



Kuva 25. "Blend surface" -työkalulla luodaan pyöristys poistettujen pintojen tilalle.

Etuosan mallinnus on toteutettu käyttämällä edellä mainittuja työkaluja eri pinnoissa eri tuloksin. Etuosan mallinnus toteutettiin ainoastaan yhdelle puolikkaalle, joka tämän jälkeen peilattiin. Tällä tavalla saadaan auton molemmista etuneljänneksistä toistensa kanssa symmetriset. Valmis etuosan mallinnus näkyy kuvassa 26.



Kuva 26. Etuosan mallinnus valmiina käyttäen eri pinnan luontityökaluja.

6 UUDEN KORIN OSAN 3D-MALLINNUS

6.1 Tehtävämäärittely

Puuttuvan puskurin rajapinnat määräytyvät tässä vaiheessa olemassa olevan etuosan kokonaisuudesta, pyöränkaarista ja splitteristä. Näihin pintoihin ja rajoihin uusi tässä työssä suunniteltu uusi osa rajautuu tai kiinnittyy. Olemassa oleva splitteri määrää puskurin alareunan, joten auton tekniset luokkasäännöt tulee noudatetuiksi koon osalta.

Moottorin vesijäähdytin sijaitsee nykyisessä ajoneuvossa keskellä etuosan alareunaa. Se vaatii ilmanottoaukon puskuriin, joten tämä ominaisuus on välttämättömyys puskurille. Suunnittelu vaatii myös pohdintaa siitä, kuinka puskuri olisi autoon kiinnitettävissä ja siitä irrotettavissa. Se, että pääsee tekemään helposti huoltotoimenpiteitä, on tärkeää kilpa-autoa huoltavan teamin kannalta. Puskurin on oltava yksinkertainen muodoltaan, jotta sen valmistus on yksinkertaista.

Suunnittelussa tulee ottaa huomioon valmistusmenetelmät ja se, kuinka osat kiinnitetään autoon. Kiinnittämistä ajatellen tulisi ottaa huomioon se, mitkä osat voidaan valmistaa yhtenäisenä osana ja mitkä olisivat toivottavaa valmistaa irrallisina. Jos ajovalon syvennysosa tulee olemaan irrallinen, täytyy huomioida kiinnitys puskuriin. Jos syvennys tulee olemaan yhtä osaa puskurin kanssa, täytyy miettiä, miten toimeksiantaja tai alihankkija pystyy valmistamaan sen tarkasti. Kun irrotettavia osia on enemmän, voi syntyä toleranssiarvojen kasautumista, jolloin lopputuloksesta reaali maailmassa tulee epäsoviva ja epäonnistunut. Esimerkiksi ajovalojen syvennykset voidaan valmistaa erillisenä, jotka sitten voidaan kiinnittää puskuriin. Ajovalot suojataan 1,5-2 mm paksuisella läpinäkyvällä akryylimuovilla ja tämä pitää ottaa myös huomioon kiinnityksen suunnittelussa. Tällä suojataan ajovaloumpioita ja tavoillaan aerodynaamisempaa korin muotoa.

Toimeksiantajaan oltiin muutamaan otteeseen yhteydessä oikeanlaisen ulkonäön saavuttamiseksi. Työn kohteena olevan auton alkuperäinen muotokieli on 80-luvun kompakti- ja pikkuautolle tyypillinen. Tämän tyyppiseen vanhaan konstruktion suunniteltavat kokonaan uuden muotoiset osat ovat estetiikan kannalta varsin iso haaste. Modernien autojen muotojen imitoiminen saattaa johtaa epäsovivaan tai rikkinäiseen lopputulokseen. Ajovaloille sijoittelu- ja muotoiluinspiraationa toimii Porschen 935 -kilpa-auton vuosimallit 1976 – 1981 (Kuva 27). Porschessa ajovalot ovat upotettuna puskuriin ja suojattu akryylilevyllä. Työn kohdeautossa on alkuperäiset ajovalot poistettu. Teknisen

säännöstön mukaan kilpa-autosta on oltava ajovalot, joten ulkonäöllisen suunnittelun aikana täytyy ottaa myös huomioon ajovalojen sijoittelu ja syvennyksen muotoilu.



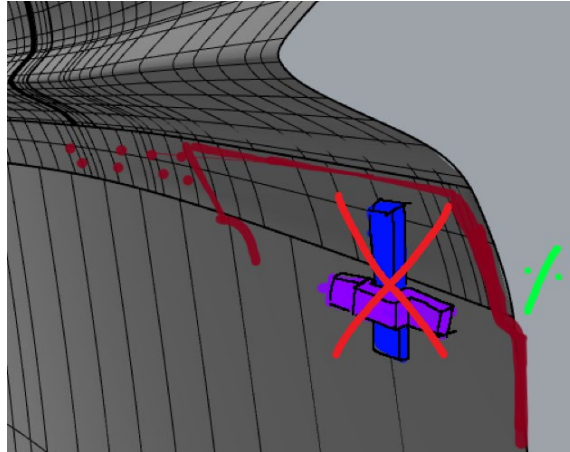
Kuva 27. Porsche 935 Kremer (Nakhon100, Wikipedia Commons 2016).

Tekniset säännöt vaativat neljän kilpailukäyttöön hyväksytyyn pikalukon käyttöä auton konepellin ja takaluukun kiinnipysymisen varmistamiseksi. Nykyisessä kilpa-autossa konepellin pikalukot ovat konepellin takareunassa ja etureunan pinnoissa. Yhtenä toimeksiantajan toivomuksena olisi, että etuosassa olevat pikalukot siirrettäisiin ylemmäs konepellin pinnalle, jotta puskurille vapautuisi enemmän tilaa ja kyseiset pikalukot varmistaisivat paremmin etuosan kiinnipitoon. Todennäköisesti pikalukot poistetaan puskurin yläosasta ja ne siirretään konepellin etureunaan.

Mekaanisen kiinnityksen toteutus vaati paljon suunnittelua. Ratkaisu ei voi olla liian monimutkainen ja sen tulisi olla helposti valmistettavissa. Kun toimeksiantajan kanssa käytiin muutamia vaihtoehtoja läpi, päädyttiin lopputulokseen, jossa hyödynnetään olemassa olevia muotoja. Ylemmästä puskurinosasta on koristeura, joka voisi toimia oivallisesti kiinnitystarkoitukseen. Koristeuran muoto toimisi ikään kuin vastapintana etuosalle, jolloin ura lomittuisi yhteen puskurin kanssa ja lukittuisi löyhästi paikoilleen. Tämä olisi kuitenkin mahdollisesti hankala valmistaa, koska siinä on monimutkaisia pintoja.

Toisena vaihtoehtona on ohjaustappien hyödyntäminen (Kuva 28). Valmistus voisi tapahtua alumiinista ja kiinnitys esimerkiksi epoksilla. Tässä suurena riskinä on toleranssivirheiden kasaantuminen. Ratkaisu on täten liian herkkä mitta- ja linjausvirheille.

Lopputulokseksi valittiin yksinkertainen ratkaisu. Limitys ei jatku koristeuran ympäri, vaan loppuu juuri ennen sitä. Epoksihartsin lujuutta tutkittiin tähän käyttötarkoitukseen ja todettiin, että sen jäykkyys riittää. Etuosa on valmistettu siitä ja puskuri tullaan valmistamaan siitä myös. Pintojen väliin tulee tiivistenauha mahdollisen ilman läpivirtauksen estämiseksi.



Kuva 28. Puskurin ohjaustappi-idea ja limityksen luonnoskuva.

6.2 Luominen

Puskuria ryhdytään luomaan tekemällä yksinkertainen tasainen pinta. Pinnan tuli olla yksinkertainen, koska se tulee vaikuttamaan valmistusmenetelmiin ja yksinkertainen muoto on osa toimeksiantajan vaatimuksia. Yksinkertaisella muodolla myös viitataan, että pinta on kaareva yhteen suuntaan. Jos pinta kaartuu kahteen tai useampaan suuntaan, esimerkiksi akryylimuovin muovaus on hankalampaa. Kun puskuriin on luotu pinta, aloitetaan aukkojen tekeminen. Aukkoja mallintaessa täytyi huomioida jälleen kerran valmistusmenetelmät, muodot sekä mahdolliset kiinnityspinnat.

Kun ajovalon syvennystä luotiin, tuli pohtia, kuinka osa aiotaan valmistaa. Piensarjatuotannossa suositetaan muotin valmistusta, joka vaatii ensin positiivilestin tekoa 3D-mallin perusteella. Tämän jälkeen positiivista valmistetaan negatiivimuotti, mikä mahdollistaa useamman keskenään samannäköisien osien valmistuksen. Tässä työssä päätettiin luoda ajovalon kehys ja upotus yhtenä osana.

Ajovalosyvennyksen muodon ja mitoituksen määrää asennettavan ajovaloumpion koko ja sen kiinnitysosat. Ajovaloumpio on halkaisijaltaan 5,75 tuumaa (noin 13,34 cm), huokea ja se sisältää vilkun. Vilkun integraation myötä ei tarvitse vilkkua hankkia taikka

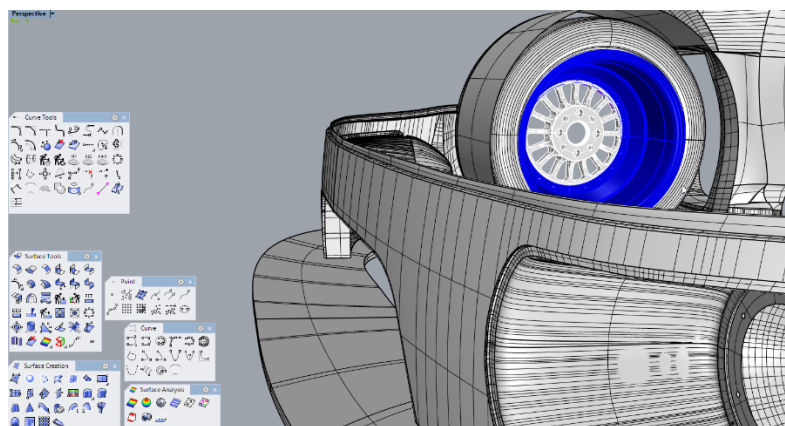
suunnitella. Ajovaloumpion kiinnitys onnistuu erillisellä mukana tulevalla kehyksellä, jonka voi ruuvata kiinni ajovalosyvennyksen pohjalle (Kuva 29).



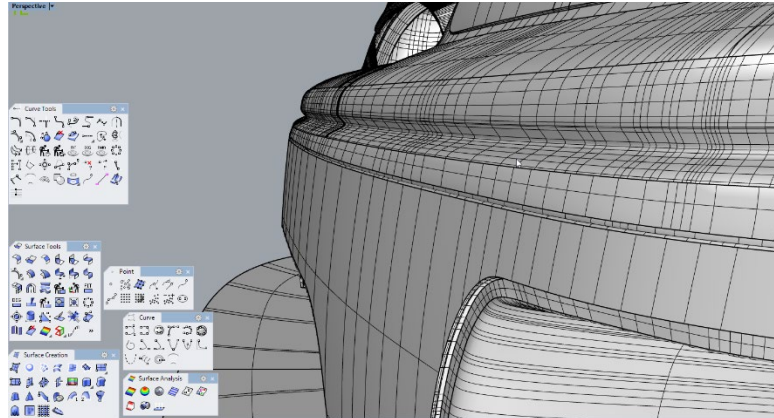
Kuva 29. Ajovaloumpion kiinnike (Aliexpress 2020)

Ajovalon syvennys kävi muutaman variaation lävitse, kunnes lopputulos oli miellyttävä toimeksiantajalle. Tässä mallinnusvaiheessa pääsi soveltamaan kaikkia työkaluja, mitä Rhino 6 pystyi tarjoamaan. Mallinnus aloitettiin yksinkertaisista muodoista, koska pyrittiin ensin opettelemaan, onko syvennys mallinnettavissa. Rhino 6:lla pystytään tuomaan takaisin leikatut pinnat ilman, että joutuu käyttämään ”Undo”-komentoa useasti, joka peruuttaisi samalla kaikki aikaisemmat työvaiheet.

Limityksen mallinnus vaati paljon soveltamista ja ajatustyötä, jotta päästään miellyttävään lopputulokseen. Soveltamalla kaikkia työn aikana opittuja työkaluja ja taitoja, lopputuloksesta saatiin se mitä haluttiin. Limityksen idea näkyy kuvissa 30 ja 31 selkeästi.



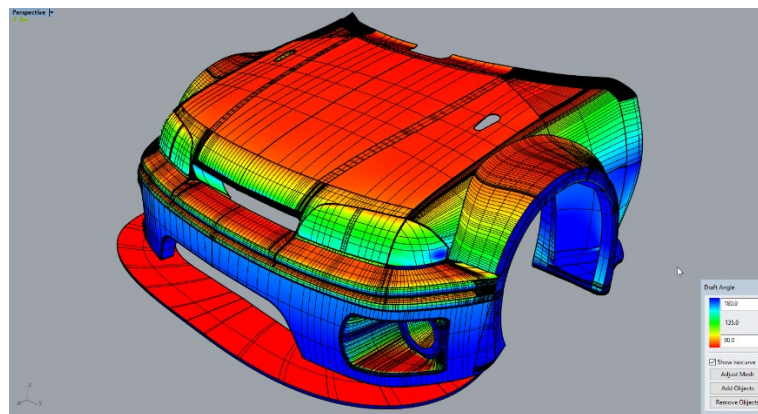
Kuva 30. Puskurin limitys ilman olemassa olevaa etuosaa.



Kuva 31. Olemassa oleva konepelti paikoillaan.

6.3 Analysointi sekä hienosäätö

Työn edetessä pintoja täytyi hienosäätää ja katselmoida kokonaisuutta, jotta lopputuloksesta tuli yhtenäinen. Tämä tarkkailu onnistui tässä työssä helposti ”Draft angle analysis”- sekä ”Zebra” -työkaluilla (Kuva 32). Kun pinnat näki selkeästi, pystyi niitä hienosäätämään. Lisäksi etuosan parissa vertailua skannattuihin polygon-pintoihin tapahtui jatkuvasti.



Kuva 32. ”Draft angle” -työkalua käyttämällä voi visualisoida pintojen muodot selkeästi.

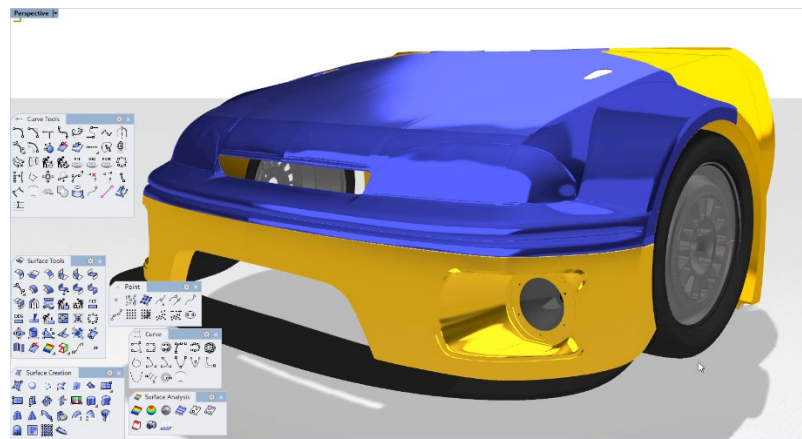
Pintojen hienosäätöä tehtiin kontrollipisteitä säätämällä, mutta työn nopeuttamista varten pintojen uudelleen luominen oli usein helpompaa. Pinnoista tuli yhtenäisempiä, kun ne voitiin luoda uudestaan myöhemmin. Tämä johtui siitä, että pinnan rajat määräytyvät jo olemassa oleviin pinnan reunoihin. Jos uusi pinta luodaan osittain toisen pinnan reunaa

vasten, sekä vastakkaisessa kulmassa piirrettyä kaarevaa viivaa vasten, uusi pinta muodostaa lokaatioon perustuvan reunan. Kun uuden pinnan luo pinnan reunaan vasten, uuden pinnan yhdyskohtaan syntyy usein tangentiaalinen kaarevuus. (Alias Automotive 2014.)

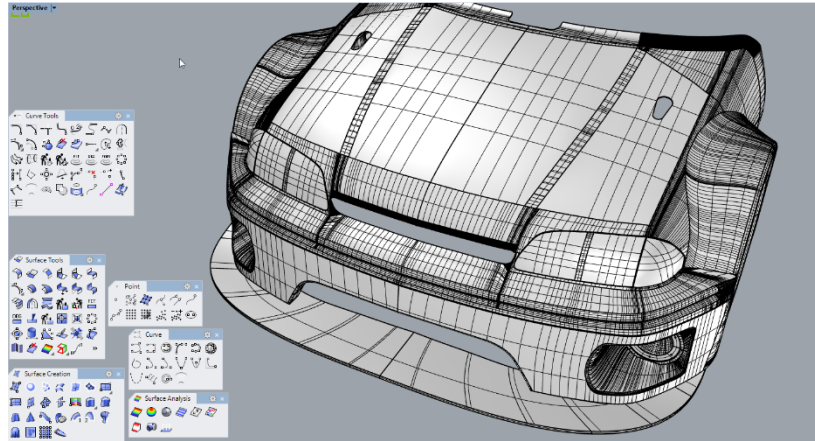
Puskurin ajovalon syvennys sekä limityksen hienosäätö tehtiin pitkälti kuvaillulla tavalla, mutta usein säädettiin käyrien kontrollipisteitä, koska puskuri täytyi luoda viivoja ja käyriä käyttämällä.

6.4 Lopputulos

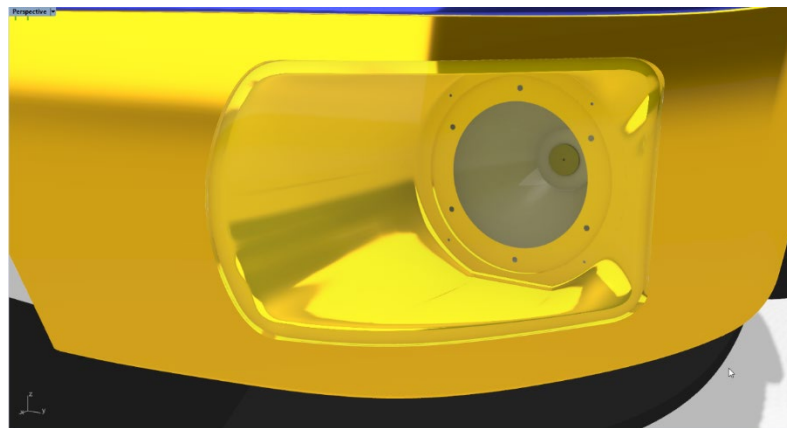
Hienosäädön ja pintojen analysoimisen jälkeen lopputulos alkaa muodostumaan. Kuvissa näkyy lopputulos kahdella eri katselutavalla. Renderöidyillä väreillä pystytään näkemään kokonaisuus ilman ylimääräisiä viivoja ja käyriä. Väreillä myös pystytään ilmaisemaan etuosan toiminnot. Tässä tapauksessa sinertävä väri kuvastaa sitä kokonaisuutta, joka on irrotettavissa auton etuosasta ja sallii pääsyn moottoritilaan (Kuva 33). Keltainen väri ilmaisee, että tämä korinosa tulee pysymään paikoillaan, kun irrotetaan konetilän koripaneeli. ”Isocurve”-näkyymällä nähdään, kuinka eri osien monimutkaisuus vaihtelee, koska pinnoista näkee poikkileikkaavat NURBS-käyrät (Kuva 34).



Kuva 33. Lopputulos etuprofiilista renderöidyillä väreillä.



Kuva 34. "Isocurve"-näkyvä nähdään poikkileikkaukset NURBS-käyristä.



Kuva 35. Ajovalon syvennys ja akryylimuovi mallinnettu.

7 POHDINTAA

7.1 Onnistumiset

Opinnäytetyössä saavutettiin siinä asetetut tavoitteet. Toimeksiantaja sai rata-auton etuosasta 3D-mallin ja se on tulevaisuudessa muokattavissa. 3D-malli tarjoaa toimeksiantajalle digitaalisen tarkastelumahdollisuuden. Työssä myös luotiin toimeksiantajan vaatimuksien mukainen puskuri, jossa täytyy sille asetetut pääkriteerit. Näiden saavuttaminen vaati aktiivista keskustelua toimeksiantajan kanssa, jotta molemmat osapuolet olisivat tyytyväisiä lopputulokseen. Työssä onnistuttiin hyvin, vaikka työhön ryhdyttiin hankalammasta suunnasta sekä ilman kokemusta. Opinnäytetyön parissa oppi erityisen hyvin soveltamaan monia ohjelman sisältämiä työkaluja. Soveltamisen taidot kehittyivät huomattavasti.

Raportti toimii ohjeena samankaltaisille projekteille, jossa halutaan hyödyntää 3D-skannausdataa pintamallinnuksessa. Raportin ohjeet on kirjoitettu Rhino 6 CAD -ohjelman perusteella, mutta 3D-mallinnusohjelmien samankaltaisuuksien vuoksi, ohjeet pätevät myös muihin 3D-mallinnusohjelmiin.

Pohjatyötä tehdessä onnistuin käyttämään sekalaisia työkaluja tehokkaasti ja nopeasti. Palasin useasti eri pintoihin, koska myöhemmin ymmärsin paremmin, mihin käyttötarkoitukseen mikäkin työkalu toimii parhaiten. Työkaluja käyttäessä myös havaitsin, että joidenkin pintojen tekeminen on vaikeaa ja tästä syystä päädyin tekemään ne pienemmissä osissa. Pintojen paloittelu on tärkeää, koska se helpottaa niiden luomista. Jos pinnat osataan yhdistää ympärillä olevien pintojen reunoihin erilaisia työkaluja soveltaen, kuten "Blend surface" -työkalulla, saadaan lopputuloksesta tarkka ja yhteneväinen.

Pohjatyön hankaluudesta ja pitkittymisestä huolimatta, se opetti minua paljon soveltamistaidoissa sekä ohjelman käytössä. Rhino 6 on CAD-ohjelma, joka eroaa paljon muista CAD-ohjelmista, joita olen käyttänyt. Ohjelman käytön opettelu vei aikaa, mutta se myös opetti 3D-muotoilusta.

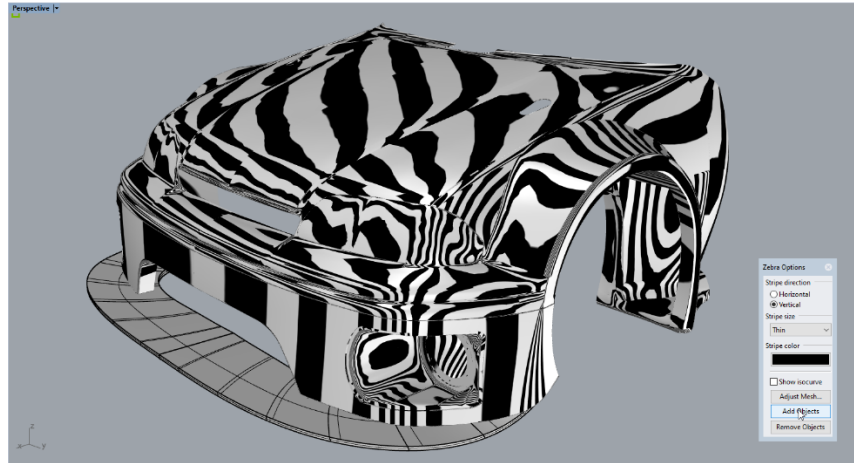
7.2 Kehityskohteet

Suunnittelun puute haittasi työn etenemistä, koska piirrokset olisivat voineet auttaa etenemistä huomattavasti. Opinnäytetyön aikana piirustuksia oli luotu, mutta joskus luonnostelu oli epäselvää. Jos työssä olisi hyödynnetty piirrosvihkoa, olisi pintojen piirtäminen sekä puskurin luonti ollut nopeampaa ja selkeämpää. Myös toimeksiantajan toiveet olisivat voineet tulla selkeämmin esille ja olisi välttytty turhalta työltä.

Työn vaativin osio oli pohjatyön teko. Siihen kului todella paljon aikaa ja se oli työläin vaihe koko opinnäytetyöstä. Tähän olisi voitu varautua paremmin ja heti alusta määritellä työn eri vaiheet tarkemmin. Samoin tässä vaiheessa olisi voinut pyytää konsultointiapua aikaisemmin. Konsultointiapua saatiin Turun AMK:n muotoilun opettajalta. Konsultoinnissa tuli ilmi, että muotoilupiirtäminen on yleensä ottaen huomattavasti vaativampaa verrattuna toiminnallisten koneenosien piirtämiseen. Prosessi oli lisäksi käännteissuunnittelua, jonka pohjalta piti myös lisätä uutta työn kohteeseen. Tämä prosessi on aikaa vievä ja se vaatii paljon osaamista.

Vaikka tavoitteisiin päästiin, puskurissa olisi vielä parannettavaa. Pinnoista olisivat voineet olla yhteneväisempiä ja niihin olisi voinut paneutua vielä yksityiskohtaisemmin. Variaatioita luotiin muutama ja lopulta toimeksiantaja oli tyytyväinen lopputulokseen. Puskurista olisi voinut myös keskustella toimeksiantajan kanssa enemmän ja välittää ideat selkeästi luonnoksina.

”Zebra”-pintoja tarkastellessa huomaa kohtia, jotka vaatisivat vielä hienosäätöä. Jotkin pinnat eivät kohtaa aivan sadasosan millimetrin tarkkuudella. Työ ei vaadi suurta tarkkuutta ja nämä voi suodattaa pois. Näitä kohtia on vaikea havaita, mutta etsimällä ne löytyvät. Samoin ”zebra”-pinnoilla havaitsee pientä nuolimaisuutta peilauskohdassa ja näkee keskisauman (Kuva 36). Tämä voisi johtua siitä, että keskikohta oli määritetty väärään kohtaan.



Kuva 36. Zebra-pinnat etuprofilista, jotka ilmaisevat pinnan muodot.

8 YHTEENVETO

Tavoitteena oli muuttaa kilpa-auton etuosan skannausdata 3D-malliksi, mikä vaatii tarkkaa työskentelyä Rhino 6 CAD -ohjelmassa. Skannausdatan analysointi, sijoittelu ja hyödyntäminen tulee ilmi opinnäytetyön raportissa. Tässä vaiheessa oli erittäin tärkeää seurata olemassa olevien pintojen muotoja, jotta 3D-mallista tulee tarkka ja puskurin suunnittelu onnistuu. 3D-mallin tarkoitus on antaa toimeksiantajalle sähköinen versio kilpa-autosta.

Tämän 3D-mallin pohjalta oli tarkoitus suunnitella kilpa-auton puuttuva korin osa. Suunnittelun ansiosta puskurista löytyy keskeisimmät ominaisuudet ja se täyttää esteettiset vaatimukset. Puskuriin integroituihin ajovalojen syvennyksiin pystytään kiinnittämään 5,75 " tuumaiset ajovalot ja puskuriin on suunniteltu ennakoivasti akryylimuovin sijoitus ajovaloumpioiden suojausta varten.

Opinnäytetyön raportin tavoitteena oli myös luoda ohjeet samankaltaisille projekteille, jossa halutaan hyödyntää 3D-skannausdataa suunnittelussa. Työkalujen esittelyssä tulee ilmi rajoitteet ja käyttötarkoitukset sekä niiden perusteella kyetään soveltamaan ohjeita eri tilanteissa. Raportti myös esittää olennaisimmat vaiheet, jotta vastaavanlaiset projektit toteutuisivat onnistuneesti.

LÄHTEET

AKK - Motor Sport ry 2021. Autojen tekniset määräykset ja kuljettajien ajovarusteet. Liite J. Viitattu 25.11.2020.

https://www.autourheilu.fi/site/assets/files/1930/12_akk_tekniset_2021-1.pdf

Aliexpress 2020. Chrome 5,75 inch headlight bracket. Viitattu 18.11.2020.

<https://www.aliexpress.com/item/4000277022564.html>

ALL3DP 2019. STL File Format (3D Printing) - Simply Explained. Viitattu 25.11.2020.

<https://all3dp.com/what-is-stl-file-format-extension-3d-printing/#pointone>

Artec 3D 2020a. Our history. Viitattu 16.11.2020.

<https://www.artec3d.com/corporate/history>

Artec 3D 2020b. Artec Leo. Viitattu 20.11.2020.

<https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/artec-leo-v2>

Autodesk Alias Automotive 2014. Introduction to Continuity Terminology. Viitattu 4.11.2020.

https://www.aliasworkbench.com/theoryBuilders/TB3_continuity1.htm

File Info 2019. STEP File Extension. Viitattu 25.11.2020.

<https://fileinfo.com/extension/step>

Hands on Metrology 2020a. T-SCAN: Your first use of GOM Inspect Suite. Viitattu 19.12.2020.

<https://youtu.be/9BwuHcmxh8>

Hands on Metrology 2020b. T-SCAN 10 & 20. Viitattu 19.12.2020.

<https://www.handsonmetrology.com/products/t-scan-10-20>

Marco Gobetto 2014. Operations Management in Automotive Industries. From Industrial Strategies to Production Resources Management, Through the Industrialization Process and Supply Chain to Pursue Value Creation. New York: Springer.

McNeel Wiki 2020. The History of Rhino. Viitattu 11.9.2020.

<https://wiki.mcneel.com/rhino/rhinohistory>

Mid-Pacific 2017. The Blackened Canteen. Viitattu 20.11.2020.

<https://www.midpac.edu/museum/2017/05/the-blackened-canteen.php>

Naval Technology 2017. Scanning the Dutch Way. Viitattu 17.11.2020.

<https://www.naval-technology.com/features/featurescanning-the-dutch-navy-5920931/>

Riku Lintervo 2019. Henkilökohtainen valokuva-arkisto.

Timo Laakko 1998. Tuotteen 3D-CAD-suunnittelu. Porvoo: WSOY.

Wikipedia Commons 2006a. Bezier Curve Media. Viitattu 28.11.2020.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d0/Bezier_curve.svg

Wikipedia Commons 2006b. NURB curve media. Viitattu 28.11.2020.

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/81/NURBstatic.svg>

Wikipedia Commons 2013. B-spline Curve Media. Viitattu 28.11.2020.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/18/B-spline_curve.svg

Wikipedia Commons 2016. Porsche 935 K3 Media. Viitattu 2.12.2020.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Porsche_935_K3#/media/File:Porsche_935_Kremer_\(5477852374\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Porsche_935_K3#/media/File:Porsche_935_Kremer_(5477852374).jpg)

Zhuming Bi & Ziaoqin Wang 2020. Computer Aided Design and Manufacturing. Singapore: Markono Print Media Pte Ltd.