

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

2020

Wille Härö

KILPA-AUTON OHJAAMOERGONOMIAN SUUNNITTELU

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

2020 | 21 sivua, 7 liitesivua

Wille Härö

KILPA-AUTON OHJAAMOERGONOMIAN SUUNNITTELU

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia ja tarkastella sähkökäyttöisen rallycross auton hallintalaitteiden sijoittelua käyttäjän näkökulmasta. Lisäksi työn tarkoituksena on tutkia, mitä hyötyjä ja haasteita 3D-skannaus tuo käänteisen suunnittelun projekteissa. Tutkimus suoritettiin luomalla ja sijoittamalla hallintalaitteet autosta muodostettuun 3D ympäristöön. Vertailussa käytettiin myös apuna monia teollisuudessa aktiivisesti käytettäviä ohjelmistoja, ja niiden käyttöön liittyvät haasteet olivat osana opinnäytetyötä.

Työ suoritetaan Turun ammattikorkeakoulun ja Valmet automotiven yhteistä eRallycross projektia varten. Tavoitteena on löytää toteutuskelpoinen suunnitelma hallintalaitteiden sijoittamiselle, missä tutkimuksen rajaus perustuu tilaajan toiveisiin ohjaamoergonomian tutkimuksessa. Tutkimus rajattiin koskemaan päähallintalaitteita, joita ovat pääasiassa ratti, penkki ja polkimet.

Hallintalaitteiden sijoittelussa 3D-skannauksen mahdollisuudet tulivat esille erityisesti suunnittelutyön suorittamisessa etänä. Mittatulokset luotiin Polyworks ohjelmistolla, mistä karkeat mitoituspaikat haettiin.

ASIASANAT:

3D-skannaus, Ergonomia, 3D-mallinnus, STL-mallin jatkokäsittely.

BACHELOR'S / MASTER'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kone-ja tuotantotekniikka

2020

Wille Härö

RACE CAR DRIVER ERGONOMICS AND DESIGN

The purpose of this thesis is to inspect and examine the placement of controls in Turkuamk's eRallycross project. Thesis results are carried out in user's perspective. In addition, thesis explores how 3D-scanning and design have changed the workload in reverse engineering-based projects. The research of this thesis was conducted by creating and placing models of objects into created 3D-model of the car.

The work is being carried out for the joint eRallycross project of Turkuamk and Valmet Automotive. The aim is to find a feasible plan for locating the controls and scope of the study was based on the customer's wishes in the study of cockpit ergonomics. The inspection was limited to main controls, which mainly include steering wheel, seat and pedals.

The goal is also to discover the benefits and challenges associated with 3d scanning in future planning. Many of the software is actively used in industry was used in comparison and in design. Many of the challenges was with unfamiliar software and overcoming obstacles with software was big part of the thesis.

KEYWORDS:

3d-scanning, Ergonomics, 3d-modeling, STL-model processing

KÄYTETYT LYHENTEET

STL	"Standard Triangle Language" Kolmioverkon yleinen tiedostomuoto
NURBS	Non-Uniform Rational B-Spline on matemaattinen malli, jota käytetään pintojen ja käyrien luomiseen ja esittämiseen.
CAD	Tietokoneavusteinen suunnittelu (eng.Computer Aided Design) Kansankielessä mallinnettu 3d-malli.
Reffit	Tuotteen jälkikäteisasennus olemassa oleviin konstruktioihin

SISÄLTÖ

JOHDANTO	2
1 ERALLYCROSS-PROJEKTI	3
2 ERGONOMIA JA KÄYTETTÄVYYS	4
2.1 Ergonomia käsitteenä	4
2.1.1 Fyysinen ergonomia	4
2.1.2 Kognitiivinen ergonomia	5
2.1.3 Organisatorinen ergonomia.	5
2.2 Ergonomia suunnittelutyössä	5
2.3 Käytettävyys	6
2.4 Havainnointi ja muisti	7
3 KÄYTTÄJÄKESKEINEN SUUNNITTELUPROSESSI	8
3.1 Ihminen toimintajärjestelmässä	8
4 SKANNAUS JA DATAN KÄSITTELY	10
4.1 3D-Skannaus	10
4.2 Laitteisto	10
4.2.1 Koskettava skannaus	11
4.2.2 Ei-koskettava skannaus	12
4.3 Skannauksen käyttökohteet	14
5 TOIMINTAOSA	16
5.1 Työn toteutus	16
5.2 Yhteenveto	20
LÄHTEET	22
KUVAT	24

JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena on määrittää kuljettajan ja ajoneuvon väliset hallintalaitteet ja miten ne tulee sijoittaa 3D-skannattuun malliin autosta. Työssä esitellään myös, mitä yleisimpiä 3D-skannereita on käytössä ja miten toteutus suoritetaan kyseistä dataa käyttämällä.

3D-skannaus on nopeasti yleistynyt menetelmä, jonka avulla tuotetaan pistedataa skannattavasta objektista. Skannaus on tullut viime vuosina esille 3D-tulostuksen myötä, vaikka skannerit ovat olleet pitkään mukana teollisuudessa muun muassa laaduntarkkailussa. Edulliset 3D-skannerit ovat tulleet markkinoille kuluttajakäyttöön ja myös erinäiset puhelinsovellukset ovat lisänneet tietoisuutta skannauksen mahdollisuuksista.

Ergonomia on tärkeä osa autourheilua. Autourheilussa ihmiseen kohdistuu huomattavia voimia ja rasitteita, minkä lisäksi kuljettajan on pystyttävä keskittymään ajosuoritukseen herkeämättä. Tästä syystä on tärkeää, että hallintalaitteet ovat kuljettajan kannalta sijoitettuna mahdollisimman ergonomisesti.

Rallicross on rallin ja rata-autoilun yhdistelmä, jossa on yhdistetty tehokkaat autot, pienet radat ja äkkinäiset tilanteet. Radat ovat yhdistelmä soraa ja asfalttia, ja ne ovat enimmäkseen nopeita, minkä lisäksi ne on suunniteltu siten, että rata on koko yleisölle helposti nähtävissä. Kilpailuissa on myös niin sanottu jokerikierros eli lisälenkki, joka on suoritettava kerran lähdössä.

1 ERALLYCROSS-PROJEKTI

eRallycross on Turun ammattikorkeakoulun autoprojekti, joka tehdään kumppanuussopimuksella Valmet automotiven kanssa. Projektin päämääränä on valmistaa sähkökäyttöistä voimalinjaa käyttävä kilpa-auto, mikä vastaa Super1600- luokan autoa. Projekti käynnistyi vuonna 2017, ja sen odotetaan valmistuvan alustavasti vuoden 2020 aikana.

Projekti on luonut oppilaille monipuolisen oppimisympäristön ja mahdollistaa eri opinalojen yhteisen toiminnan. Projekti luo tutkimusalustan muun muassa muotoilun, markkinoinnin, ajodynamiikan ja elektroniikan aloille. Tavoitteena on ollut myös TKI-toiminnan lisääminen ja yleisen tekniikan koulutuksen vetovoiman parantaminen.



Kuva 1. Visualisointi auton lopullisesta ulkonäöstä.

2 ERGONOMIA JA KÄYTETTÄVYYS

Ergonomia on tieteellisten periaatteiden, menetelmien ja tietojen hyödyntämistä, joilla kehitetään sellaisia toimintajärjestelmiä, missä ihmisellä on merkittävä rooli. Ergonomian ympärille sijoittuu monia perusteita psykologian, kognitiotieteiden, fysiologian, biomekaniikan ja fyysisen antropometrian ympärille. Näitä tietoja käyttäen perustehtävänä on luoda siedettävät työolosuhteet käyttäjälle, jotka eivät aiheuta tunnettuja vaaroja ihmisen hengelle tai terveydelle. Lopullinen tavoite on luoda optimaaliset olosuhteet, jossa fyysinen, henkinen ja sosiaalinen hyvinvointi saavutetaan.

2.1 Ergonomia käsitteenä

Yleisesti käytetty kansainvälisen Ergonomiajärjestön (International Ergonomics Association, IEA) määrittelee ergonomian niin, että ”ergonomia on ihmisen ja tekniikan välisen vuorovaikutuksen kehittämistä.” Ergonomia siis tarkastelee ja optimoi tuotteita toimintajärjestelmäkokonaisuuksiin sopiviksi. Tämä on niin sanottu komponenttien tasapainomalli. Optimoinnin tavoitteita ovat mm. hyvä tuloksellisuus, käyttäjän hyvinvointi sekä ei-toivottuja mm. virheet, onnettomuudet, epä mukavuus ja sairaudet. Tarkastelussa on mukana fyysiset, kognitiiviset, sosiaaliset ja organisatoriset näkökulmat. Yleisesti ihmistä kutsutaan toimintajärjestelmässä ”käyttäjäksi” ja käytettävää konetta ”tuotteeksi” oli kyse ralliautosta tai pankkiautomaatista. (Väyrynen, 2004).

Ergonomia- ja käytettävyysoptimoinnin tavoitteena on saavuttaa tuotteen, tehtävän ja käyttäjän välillä paras mahdollinen suhde ja vuorovaikutus.

2.1.1 Fyysinen ergonomia

Fyysinen ergonomia käsittelee ihmisen anatomisia, antropometrisiä, fysiologisia ja biomekaanisia ominaisuuksia, ja miten ne liittyvät fyysiseen aktiivisuuteen. Merkittävimpiä aiheita ovat työasennot, materiaalikäsittely, toistuvat liikkeet, työperäiset tuki- ja liikuntaelinten häiriöt työpaikan ulkoasu, turvallisuus ja terveys. (IEA18)

Fyysinen ergonomia on olennaisena osana koneteknologisessa tutkimuksessa, kun suunnitellaan ohjaamoympäristöä käyttäjän fyysisiä vaatimuksia ajatellen.

2.1.2 Kognitiivinen ergonomia

Kognitiivinen ergonomia käsittelee ihmisen vuorovaikutusta toimintajärjestelmien kanssa tiedonkäsittelyn näkökulmasta. Se siis käsittelee ihmisen psyykkisiä toimintoja, kuten havainnointikykyä, muistia, päättelyä ja motorisia vasteita. Keskeisiä aiheita ovat päätöksenteko, taitosuoritukset, ihmisen ja tietokoneen välinen vuorovaikutus, inhimillisen toiminnan luotettavuus, työstressi ja koulutus. (IEA18)

Ralliautossa kuljettaja tarvitsee tietoa ja tuntemusta auton toiminnasta, jotta kuljettaja voi reagoida vikatilanteisiin mahdollisimman nopeasti poistamatta keskittymistä ajosuorituksesta. Auton käyttäjä saa kaiken tiedon mittareista ja merkinantovaloista, jotka pyritään sijoittamaan kuskin kannalta helposti havaittaviin paikkoihin.

2.1.3 Organisaattorinen ergonomia.

Organisaattorinen ergonomia keskittyy sosiotekniseen järjestelmään. Tähän liittyy organisaattorirakenteen, menettelytapojen ja prosessien tarkastelu ja sen optimaalisen toiminnan tarkastelu. Keskeisinä aiheina ovat viestintä, henkilöstöhallinto, työn muotoilu, työaikajärjestely, tiimityö, osallistuva suunnittelu, yhteisö, uudet työmallit, organisaattoriokulttuuri, etätyö ja laatujohtaminen. (IEA18)

2.2 Ergonomia suunnittelutyössä

Suunnittelun tarkoituksena on ennakoida miten asioiden tulisi olla tai miten niiden toivotaisiin olevan. Haasteena siinä on muuttaa nykyinen tilanne toivotun laiseksi. Suunnittelija pyrkii ennakoimaan tuotteiden ja ihmisten käyttäytymistä oman tiedon ja ammattitaidon pohjalta. Suunnittelijat tarvitsevat tietoa tuotteiden käyttäjien käyttäytymisestä. Tätä tietoa pyritään hakemaan tutkimusten avulla, arvioimalla vastaavanlaisia tuotteita sekä tutkimalla tulevien tuotteiden tarpeellisuutta. (Väyrynen, 2004)

Käyttäjakeskeistä suunnittelua voidaan lähestyä neljän eri tavoitteen avulla, jotka perustuvat D.A Normanin tutkimuksiin. Tuotteista pyritään tehdä mahdollisimman helposti ymmärrettäviä ja helppokäyttöisiä. Tuloksen ja itse prosessin eri vaiheet ovat oltava sellaiset, että

- käyttäjä voi helposti arvioida, mitkä toiminnot ovat mahdollisia milläkin hetkellä
- asiat ovat näkyvissä sisältäen järjestelmän käsitteellisen mallin, erinäiset toimenpiteen ja toimintojen vaikutukset
- käyttäjä pystyy arvioimaan ja havainnollistamaan järjestelmän tilan helposti ja nopeasti
- kytkentöjen tulee olla luontevia käyttäjän aikomuksen, vaaditun toimenpiteen, sekä näkyvän tilan että järjestelmän tilan välillä.

(Norman, 2001)

2.3 Käytettävyys

Käytettävyys on käsitteenä hyvin laaja, ja sitä on vaikea mitata sellaisenaan. Kaikilla tuotteilla on jonkinlainen käytettävyys, oli kyseessä taas ralliautosta, tai pankkiautomaatista. Molemmissa on omanlaisensa käytettävyys, ja molempien tutkintamenetelmät eroavat toisistaan huomattavasti.

Yleisesti kuitenkin käytettävyydellä tarkoitetaan sitä, miten tuotteelle tarkoitetut tavoitteet saavutetaan mahdollisimman tehokkaasti, tuloksellisesti ja miellyttävästi. Tehokkuudella tarkoitetaan ihmisen voimavarojen hyödyntämistä mahdollisimman tuottavalla tavalla tavoitteiden saavuttamiseksi. Miellyttävyyden edellytys puolestaan on käyttäjän tyytyväisyys tuotteeseen eli toisin sanoen epämukavuuden puuttumista. (Väyrynen, 2004)

Käytettävyys määritellään myös standardissa SFS-EN ISO 9241-11 mitaksi miten hyvin käyttäjä voi käyttää tuotetta käyttötilanteessa saavuttaakseen määrätyt tavoitteet tuloksellisesti, tehokkaasti ja miellyttävästi. (IEA18)

2.4 Havainnointi ja muisti

Jotta käyttäjä pystyisi käyttämään tuotetta mahdollisimman hyvin, pitää hänen pystyä havaitsemaan tuotteessa kaikki toiminnan kannalta oleellinen. Jos käyttäjä ei näe kaikkea mitä tulisi nähdä, voi syynä olla, että jokin väärä asia vie käyttäjän huomion. Osa-syynä voi myös olla, että asiat eivät hahmotu käyttäjälle tai se että asiat hahmottuvat väärin. (Irmeli Sinkonen, 2002)

Värynen ja muut (2004) (s.66) pitävät seuraavia asioita tärkeinä lähtökohtina pyrittäessä hyvään käytettävyyssuunnitteluun.

1. visuaalisuus. Käyttäjän tulee saada katsomalla kuva laitteen toimintatilasta ja vaihtoehtoisista toiminnoista
2. hyvä käsitteellinen malli. Suunnittelijan tehtävänä on luoda käyttäjälle hyvä käsitteellinen malli, eli käytännössä esimerkiksi mittariston mittarien tulee toimia loogisesti samalla tavalla
3. selkeät kytkennät. Käyttäjän on pystyttävä päättämään ohjaustoiminnan tuloksen suhde
4. palaute. Käyttäjän tulee saada jatkuvaa palautetta toiminnoistaan.

Kaikki tiedon käsittely edellyttää muistin toimimista. Tieto tallentuu muistiin vasta, kun sitä on käsitelty ja varastoitu. Muistaminen on tiedon mieleen palauttamista.

3 KÄYTTÄJÄKESKEINEN SUUNNITTELUPROSESSI

Käyttäjakeskeisellä suunnittelulla tarkoitetaan, että suunnittelua lähestytään täysin käyttäjän näkökulmasta ja tuote rakennetaan käyttäjän ympärille. Käyttäjakeskeisyyden etuja ovat se, että käyttäjät ovat oman työnsä asiantuntijoita; tässä tapauksessa auton kuljettaja. Käyttäjät ovat myös yleisesti parhaita arvioimaan ja testaamaan heidän käyttöönsä kehitettyjä tuotteita.

Käyttäjakeskeinen suunnittelutyö voi yleisesti vaikuttaa työläältä ja kalliilta. Tuoteprojektia tarkastellessa kokonaisuutena voidaan kuitenkin huomata, että käyttäjakeskeinen suunnittelutapa lyhentää kokonaissuunnittelu-aikaa vähentämällä projektin loppuvaiheessa tehtäviä suuria ja työläitä muutoksia. (Nykänen, 2013)

Käyttäjän ja tuotteen välinen suhde on myös tärkeä osa suunnitteluprosessia. Joissakin tapauksissa tuotteiden käyttämiseen liitetty tyytyväisyys liitetään vain riskien minimoimiseen ja epämukavuuden poistoon. Todellisuudessa tuotteilla on laajempi merkitys. Käyttäjakeskeisessä suunnittelussa saatetaan usein pelkistää ihmisen käsitystä liikaa, jos tarkastellaan ainoastaan tuotetta, käyttäjää ja ympäristöä. Haasteena on tutkia niitä tekijöitä, jotka vaikuttavat ihmisen ja tuotteen välisen suhteen laatuun. Näitä vaikuttavia tekijöitä, ovat esimerkiksi: tuotteen ulkonäkö, teknisten ominaisuuksien sopivuus ja toimivuus ja ihmisten tuotteeseen kohdistetut odotukset. (Väyrynen, 2004)

3.1 Ihminen toimintajärjestelmässä

Perusedellytyksenä turvalliselle ja tuottavalle toiminnalle on hyvä ihmisen ja koneen välinen vuorovaikutus. Työn suunnittelussa pitää pystyä hahmottamaan koko toimintaympäristö vuorovaikutuksineen. Ihminen, kone ja käyttöympäristö muodostavat toimintajärjestelmän, jossa toimintaa ja toimintoja tulee tarkastella näiden kaikkien suhteessa toisiinsa.

Koneet ja konejärjestelmät muotoutuvat yhä monimutkaisemmiksi, ja koneen käyttäjillä saattaa olla vaikeuksia ymmärtää järjestelmää kokonaisuutena. Vuorovaikutuksen odotetaan olevan mielekäs ja looginen suhteessa tavoitteisiin ja ihmisten mielikuviin tavoitteiloista. Osataanko tarjolla olevista keinoista valita oikeat tavoitteiden saavuttamiseksi?

Työn uudenaikaisella mallintamisella ja kehittämällä työn suunnittelun liittymistä tuoteprosessiin; suunnitteluprosessiin sisältyviä rajoitteita voidaan vähentää. Voidaan esimerkiksi määritellä vain oleellimmat reunaehdot ja sallia toiminnan suunnittelulle ja toteutamiselle suurempi vapaus. Tämä vaatii myös muutosta ajattelussa: suunnitteluprosessi muuntuu iteratiivisista toiminnoista tietoisiksi toimintatavoiksi, toimintajärjestelmien rakentumisen prosesseiksi.

Suunnittelun haasteena onkin tuottaa järjestelmiä, jotka tukevat yksilöllisiä tapoja toimia ja suorittaa tehtäviä. Siksi osajärjestelmistä toimintajärjestelmäksi rakentuvan kohteen ominaisuuksia on voitava suunnitella myös toimintaorientoituneesti jo ennen konkreettista toteutusta. (Juhani Viitaniemi, 2005)

4 SKANNAUS JA DATAN KÄSITTELY

4.1 3D-Skannaus

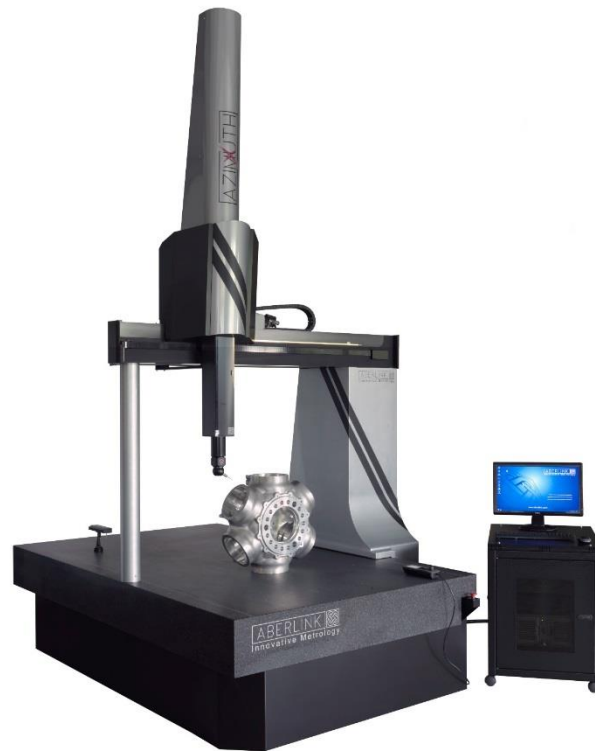
3D-skannauksen päätavoitteena on saada mikä tahansa objekti tai tila digitaaliseen muotoon. Käänteisestä suunnittelua, eli olemassa olevan mittaamista ja mallintamista käytetään laajasti teollisuuden puolella. Tämän lisäksi skannausta voidaan hyödyntää ympäristön digitoinnissa ja 3D-mallintamisessa. Tällöin voidaan ottaa huomioon ympäristön asettamat vaatimukset esimerkiksi autoteollisuudessa. (Aniwa)



Kuva 2. Kreon merkinen Mittavarsi Ei-koskettavalla ja koskettavalla mittapäällä.

4.2 Laitteisto

3D-skannerit voidaan jaotella pääasiassa kahteen eri luokkaan: koskettaviin- sekä ei-koskettaviin skannereihin. Koskettavia mittalaitteita ovat pääasiassa nivelvarsimittalaitteet ja koordinaattimittalaitteet. Mittalaitteet tuottavat pisteitä avaruuteen samalla tavalla kuin skannerit, mutta pisteen muodostamista varten tarvitaan aina kosketus kappaleen kanssa. Tämä luo ongelman kosketusherkissä ja pehmeissä kappaleissa. (Aniwa) (Rensi, 2020)



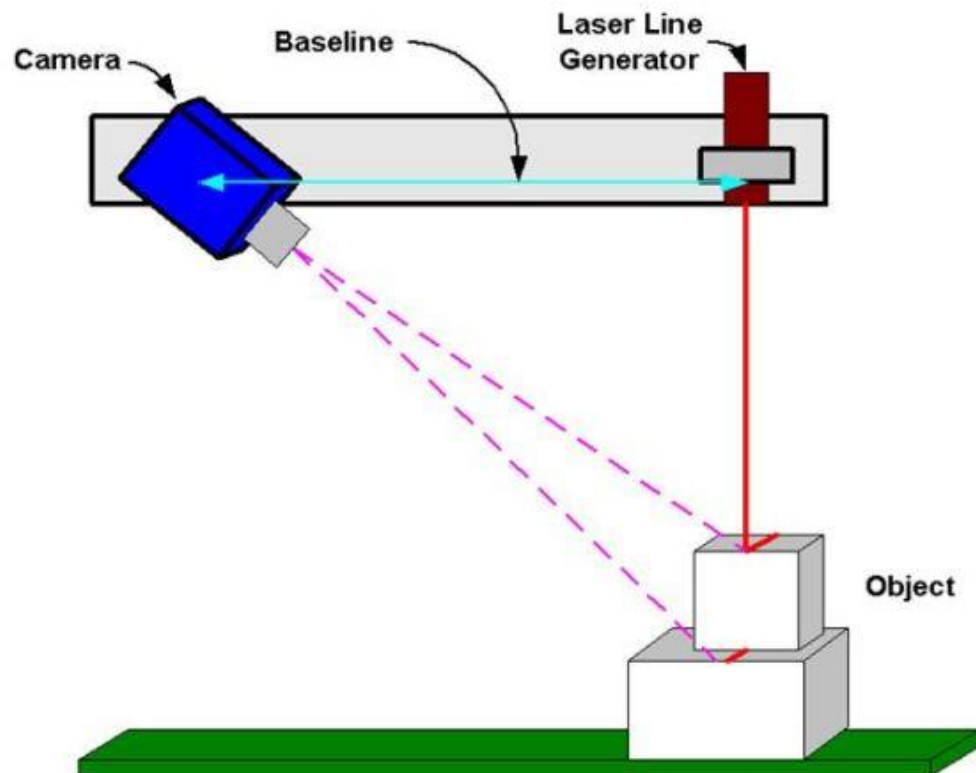
Kuva 3. Aberlink Azimuth koordinaattimittalaite koskettavalla mittapäällä.

4.2.1 Koskettava skannaus

Koskettavassa skannauksessa piste muodostetaan koordinaatistoon koskettamalla kappaletta fyysisesti. Tätä varten skannerissa on mittapää, mikä tallioi kosketuksen kappaleen kanssa ja muodostaa pisteen koordinaatistoon. Tätä tapaa käyttävän suuren tarkkuuden omaavat 3d-skannerit, joita nimitetään CMM (coordinate measuring machine)-skannereiksi. Tyypillisimpiä CMM-laitteita ovat nivelvarsi- ja pöytämallin koordinaattimittalaitteet. Nivelvarsikoneessa X-, Y-, ja Z-koordinaatit määritetään kulma-anturien avulla. Laitteissa on tyypillisesti 6–7 akselia, missä jokaisessa akselissa on anturi. Jokaisen akselin kulma-anturi mittaa akselin kulmaa reaaliajassa. Kaikkien akselien kulmien yhteenlaskettu summa kertoo mittapään sijainnin koordinaatistossa, minkä avulla mitattu piste voidaan muodostaa koordinaatistoon. Pöytämallin koordinaattimittalaitteissa perusperiaate on sama, mutta paikoitus haetaan CNC-ohjatusti X-, Y-, ja Z- lineaariakseleilta. Koskettavaa mittausta käytetään lähtökohtaisesti laadunvalvonnallisissa sovelluksissa, kun taas ei-koskettava mittausta on suositumpaa käänteisen suunnittelun projekteissa. (Aniwaa)

4.2.2 Ei-koskettava skannaus

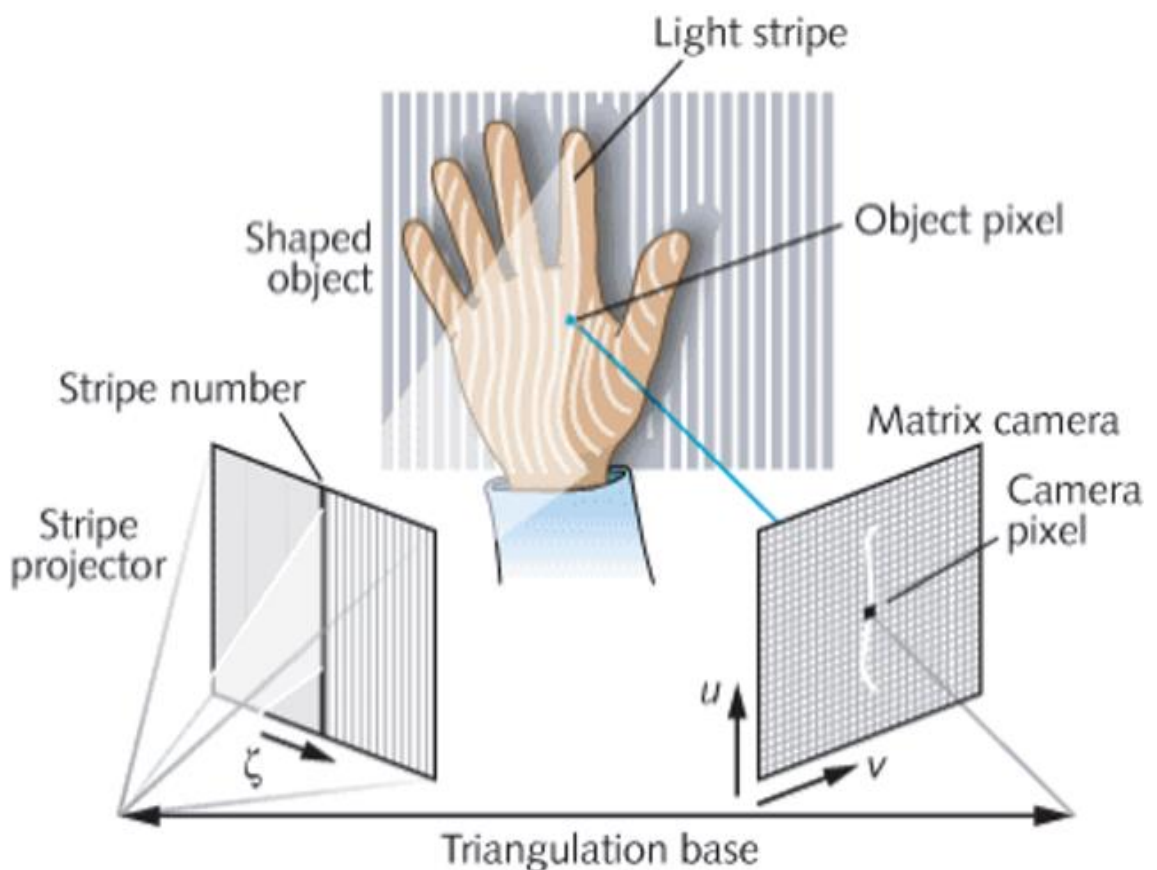
Ei-koskettavat skannerit voidaan jakaa aktiivisiin ja passiivisiin skannereihin. Aktiiviskanneriksi luetellaan skannerit, mitkä heijastavat skannattavalle pinnalle jonkinlaista valoa tai säteilyä. Skanneri lukee pinnalta takaisin suuntautunutta heijastusta, minkä pohjalta pinnan pisteitä luodaan. Yleisimpiä menetelmiä ovat kolmiomittaus, TOF (time of flight) ja strukturoitulla valolla taltiointi. Kolmiomittauksessa valokuvio on poikkeuksia lukuun ottamatta yksittäinen laserviiva, mitä laitteen optinen kamera lukee ja muodostaa pisteitä. (kuva4) Pisteiden välinen etäisyys laserviivalla määrittää skannerin resoluution, eli pisteiden välisen tiheyden. Tarkkuuteen vaikuttaa myös suuresti skanneriin liitetty mittalaitte. Kolmiomittauksessa laserskanneri ei voi paikoittaa pisteitä koordinaatistossa ilman liitettyä mittalaitetta. Yleisesti mittalaitteena käytetään nivelvarsimittalaitetta(kuva2) tai koordinaattimittalaitetta(kuva3). Kolmiomittausta käytetään yleisesti pienempien kappa-leiden skannauksessa ja suurta tarkkuutta vaativissa tehtävissä. (Service, 2018), (Aniwa)



Kuva 4. Laserskannerin toimintaperiaate

Time of flight; eli suomeksi lentoaikamittaus tyylistä skannausta käytetään suurempien kokonaisuuksien skannauksissa. Skanneri lähettää skannattavalle pinnalle laserilla pulssin, mikä heijastuu kappaleen pinnasta ja palaa skannerille. Kohteen etäisyys voidaan laskea pulssin lentoajasta, kun valon nopeus on vakio. TOF-tyylin skannerit pystyvät toimintatapansa takia skannaamaan jopa satojen metrien päästä, mutta tarkkuus on kolmiomittaukseen verraten huomattavasti heikompaa. Tyypillinen tarkkuus TOF-skannerille on n.4-10mm, kun kolmiomittauksessa tarkkuudet ovat 0.05mm luokkaa. (Service, 2018)

Strukturoidulla valolla skannatessa pinnalle muodostetaan yksi- tai kaksiulotteisesti valokuvio. Pinnalle muodostetusta kuvioista kuvataan ja lasketaan monimutkaisten algoritmien pohjalta etäisyys viivojen pisteiden välillä ja tämän avulla rekonstruoidaan skannattu pinta. Kyseinen skanneri mahdollistaa laajempien pintojen taltioimisen (laserviivan sijaan) skannattavasta pinnasta (kuva5). Strukturoidun valon skannerit ovat tarkkuudeltaan laserviivalla skannauksen ja TOF- skannauksen välimaastossa.



Kuva 5. Strukturoidun valon skannauksen toimintaperiaate

Passiivisessa skannauksessa kappaleen pinnalle ei heijasteta minkäänlaista valoa tai säteilyä. Passiivisessa skannauksessa käytetään optista kamerayksikköä, millä otetaan kuvia kappaleesta eri suunnista. Kappaleesta taltioituista kuvista voidaan muodostaa tietokonesovelluksen avulla samaa pistepilvidataa kuin aktiivisessa skannauksessa. Kolmioverkon muodostus käyttää apunaan konenäköä, vaativia algoritmeja ja huomattavan määrän tietokoneen laskentatehoa. Passiivinen skannaus on nostanut ihmisten tietoisuutta 3d-skannauksesta erinäisten puhelinsovellusten kautta. (Service, 2018) (Georgopoulos;ym., 2010)

4.3 Skannauksen käyttökohteet

Skannauksen käyttökohteet ovat rajattomat, mutta yleisimpinä ovat laadunvarmistus ja käänteinen suunnittelu. Laadunvalvonnassa CAD-mallista työstetty kappale voidaan skannata kokonaisuudessaan ja taltioitua pistedataa voidaan verrata alkuperäiseen CAD-malliin kappaleesta. Näin kappaleen mahdolliset valmistuksessa muodostuneet virheet saadaan selville ennen asiakkaalle tai käyttöympäristöön pääsyä. Skannauksella voidaan myös parantaa olemassa olevaa kappaletta käänteisen suunnittelun projekteissa. Kappaleen muodon ja päämittojen taltiointi on mahdollista kappaleista, mistä mitatieto ei ole muilla menetelmillä saatavissa. Tästä hyvänä esimerkkinä ovat ihmisen kehon osat. Jokainen ihminen on fyysisiltä ominaisuuksiltaan yksilöllinen ja ihmisen muotoja on erittäin vaikea taltioida perinteisin menetelmin digitaaliseen muotoon. Hyvänä esimerkkinä proteesin teko, missä on voitu käyttää apuna 3D- skannausta ja muodostaa malli ihmisestä helposti työstettävään muotoon.

3D-skannaus on myös mahdollistanut vaikeasti säilyvien esineiden digisoinnin. Museoesineet ovat usein hauraita ja ylimääräistä kosketusta halutaan välttää. Tästä syystä 3d-skannaus on hyvä keino tutkia ja mitata esine ilman fyysistä kosketusta. Näin myös erittäin hauraat kappaleet on mahdollista saada yleisölle näytille digitaalisessa muodossa.

Virtuaaliympäristöt ovat myös luoneet täysin uuden markkinan 3d skannereille. Mahdollisuus skannata olemassa oleva esine tai julkisuuden henkilö virtuaalimaailmaan on ollut suuri mahdollisuus skannerivalmistajille.

Laserkeilaus (TOF) on myös hyvä 3D-skannauksen muoto, millä voidaan skannata suuria kokonaisuuksia kerralla. Hyvänä esimerkkinä talojen julkisivut, missä esimerkiksi halutaan taltioida vanha julkisivu enne uuden tekemistä. Näin saadaan kuvia tarkempaa tietoa julkisivun profiilien muodoista ja toteutuksesta. (Artec3D, 2020) (Rensi, 2020).

5 TOIMINTAOSA

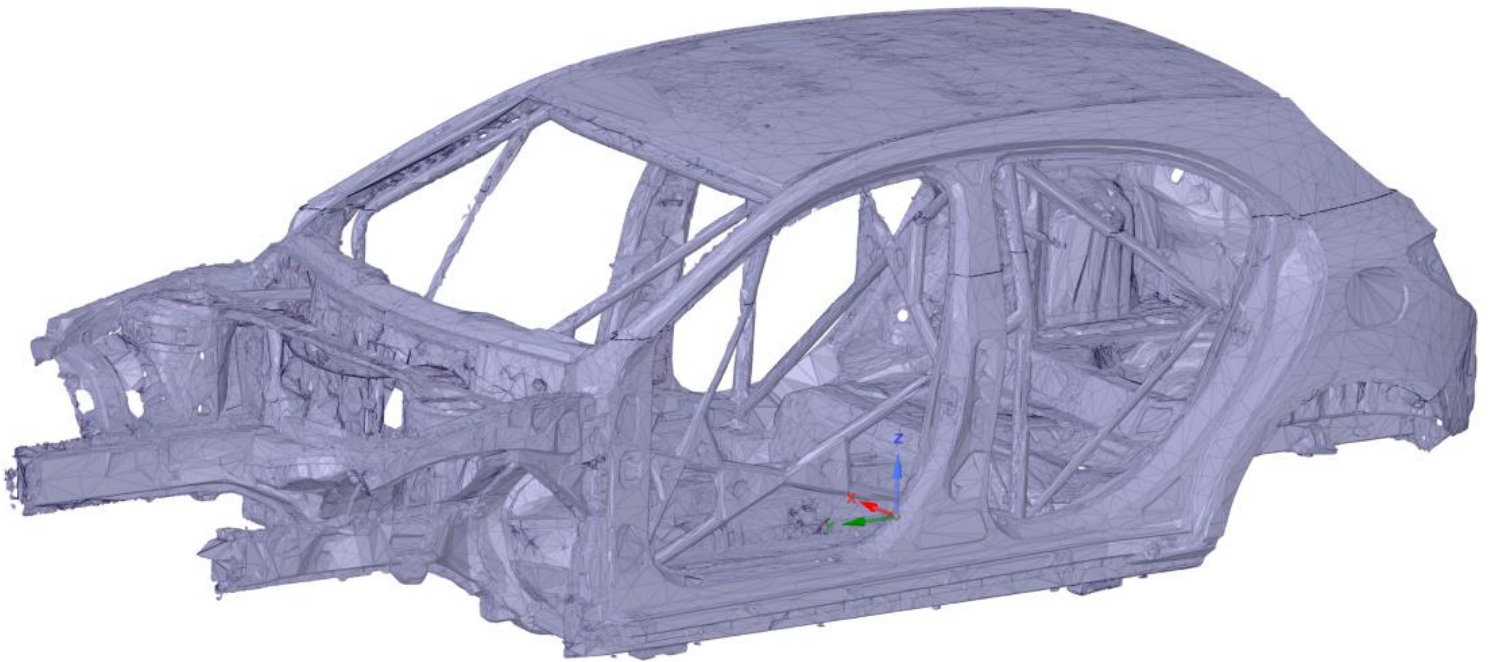
5.1 Työn toteutus

Työn toteutus aloitettiin Mercedes Benz W176 runkomallin auton pohjalta. Mercedes-Benz W176 on saksalaisen Daimler AG:n henkilöautojen valmistuksesta vastaavan Mercedes-Benz Cars -yksikön valmistama. W176 kuuluu valmistajan A-sarjaan ja on c-segmenttiin eli keskikokoluokkaan sijoittuva automalli. Malli esiteltiin maaliskuussa 2012 Geneven autonäyttelyssä W 169 -mallin seuraajaksi. Mallin tuotanto aloitettiin 16. heinäkuuta ja sen Euroopan laajuinen lanseeraaminen tapahtui 15. syyskuuta 2012. Suomessa on ollut myös automallin tuotantoa Valmet automotiven toimesta. Automallia tuotettiin Valmet automotiven uudenkaupungin tehtaalla koko sukupolven ajan. Nykyään mallistossa on jo neljäs sukupolvi A-sarjasta ja lisäksi Mercedes Benzin GLC automalli. (Kinnunen;ym., 2018) (Autowiki.fi, 2019).

Skannattua mallia käytettiin tämän opinnäytetyön pohjana, mihin muodostettiin käänteisesti suunnitteleamalla kuljettajan hallintalaitteiden sijoituspisteet. Pääkohtina pyrittiin määrittämään kuljettajan istuin, polkimet ja ratti. Kyseiset hallintalaitteet tulisi sijoittaa mahdollisimman ergonomisesti kuljettajan näkökulmasta ja palvelemaan mahdollisimman laajaa ihmiskirjoa. Ennen suunnittelua läpikäytiin vaikuttavat seikat suunnitelman toteuttamiselle.

- kuljettajan näkökenttä
- painopiste autossa
- kuljettajan turvallinen sijoittaminen
- hallintalaitteiden säätömahdollisuudet
- yksinkertainen valmisteellinen rakenne.
- olemassa olevien komponenttien hyödyntäminen

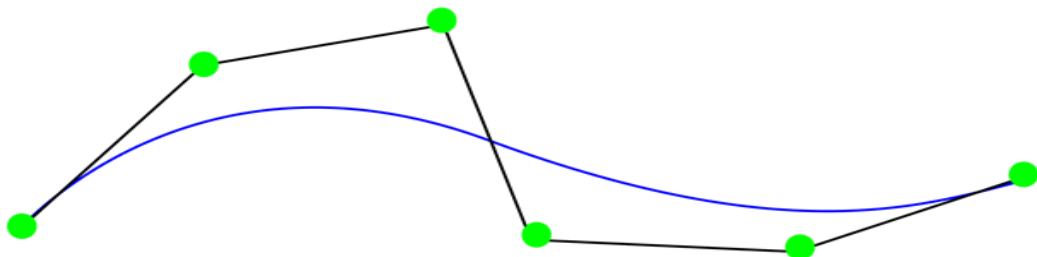
STL-mallin työstö aloitettiin kolmioverkon optimoinnilla. 3d-skannaus tuottaa erittäin suuren määrän kolmioita skannattavasta objektista. Optimoimalla malli on mahdollista poistaa ylimääräiset kolmiot ja luoda näin kevyempi malli menettämättä huomattavaa tarkkuutta alkuperäiseen skannaukseen nähden. Tämä nopeuttaa mallin jälkikäsitelyä ja vaatii myös huomattavasti vähemmän laskentatehoa tietokoneelta.



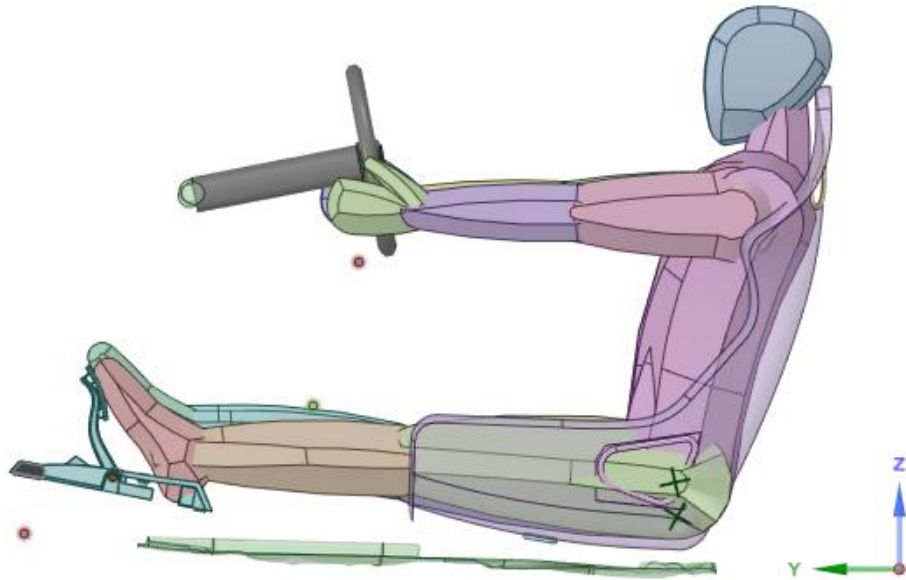
Kuva 6. Skannattu malli eRallycross projektin aiheista

Mallin työstöä jatkettiin pintamallin muodostamisella kolmioverkon päälle. Kolmioverkko-data ei pidä sisällään pintoja, mitä useat piirrepohjaiset mallinnusohjelmistot käyttävät. Näin pintojen muodostaminen kiinnityskohtiin on pakollista, jotta STL tiedostosta saa työstökelpoisen. Kiinnityspintojen luominen toteutettiin SpaceClaim ohjelmiston NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) työkalua käyttäen. (Rensi, 2020)

NURBS ominaisuus tarraa kiinni skannatun tiedoston pistedataan ja luo käyrän pinnan muotoja mukaillen. Tapaa on käytetty juurikin autoteollisuudessa muotojen suunnittelussa, kun tietokoneiden laskentateho oli vielä heikompaa. NURBS käyrien lasketatehon käyttö on suhteellisen pientä verrattuna solidimallin muodostamiseen, jolloin se on hyvä vaihtoehto suurempien pintojen mallinnukselle. Nurbs pinnan tarkkuus ei myöskään heikkene suuremmilla pinnoilla, vaikka tiedostokoko pysyy samana. (Chuck, 2019)



Kuva 7. NURBS käyrän visualisointi



Kuva 8. NURBS pinnan päälle visualisoitu kuski

Pintojen muodostamisen jälkeen aloitettiin laitteen käyttäjäympäristön suunnittelu. Laitteet pyrittiin sijoittamaan edellä mainittujen kohtien mukaan mahdollisimman tarkasti. Skannauksen pääideana oli saada kiinnityspisteiden paikat ja niihin sijoitettavat hallintalaitteet sopimaan mahdollisimman saumattomasti. Ennen skannausmahdollisuutta kiinnitinpaikat mitattiin käsin ja kokeiluja jouduttiin tekemään fyysisesti suuria määriä.

Mallinnuksessa keskityttiin pääsääntöisesti kuljettajan *fyysiseen ergonomiaan*. Kuljettajan ajoasento muodostettiin SAE standardien mukaan, ottaen huomioon autourheilun aggressiivisempi ajokäytös.

Käyttäjämallin, muodostamisessa käytettiin apuna SAE standardeja J4002 ja J4004. Kyseiset standardit käsittelevät vartalon asentoja ja määrittävät maailmanlaajuisesti kuljettajien keskeiset mitat. Liitteenä *kuva 10*, mikä toimi vahvasti kuljettajan mittojen pohjana. Autoteollisuudessa mitat ovat muodostettu käyttämällä H-piste (eng. hip-point) konetta, missä lonkan niveltä käytetään referenssipisteenä. Tämän koneen avulla on mahdollista muodostaa useita variaatioita eri kokoluokan ihmisistä ja mitoittaa koneen avulla kuski ohjaamo-ympäristöön (kuva 11). (Kashif;ym., 2018)

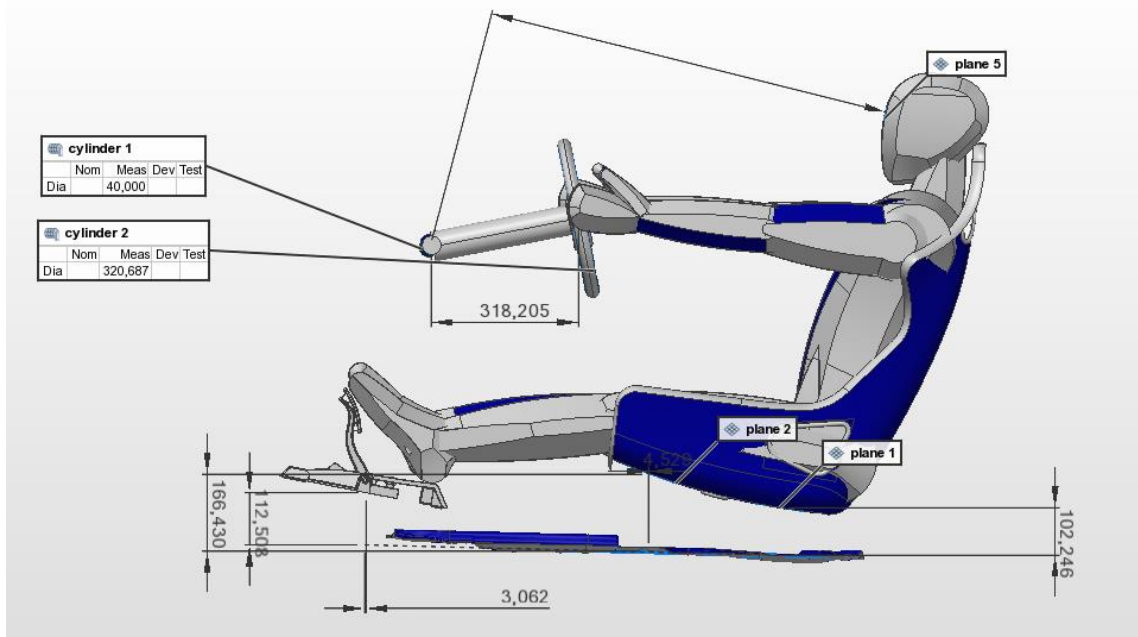


Kuva 9. H-point machine.

Käyttäjämallin, eli kuskin pituudeksi valittiin suomessa mitattu naisten ja miesten keskipituuden keskiarvo. Lukuarvona käytettiin lukua $\frac{178,9+167,2}{2} = 173\text{cm}$. (Ojala)

Kuski, polkimet, ratti ja penkki mallinnettiin olemassa olevien tietojen perusteella. Monia malliaihioita myös hyödynnettiin CRABCAD sivustolta. Kun mallit oli saatu oikeisiin mitasuhteisiin, aloitettiin mallien paikoitus. Alustava paikoitus haettiin visuaalisesti, minkä jälkeen mahdolliset kiinnityspaikat penkille haettiin auton mallista.

Kun kiinnityspaikat oli valittu, kuskin korkeuden määritti pääasiassa suhde painopisteen ja näkökentän välillä. Sivuttaissuunnassa paikoitus määritettiin kiinnityspisteiden keskelle. Penkin paikoitus pituussuunnassa asetettiin 173cm pitkän mallin kannalta optimaaliseen asentoon. Projektissa käytettävässä penkissä tulee olemaan lisäksi penkin siirtoa mahdollistava liukukisko, minkä liikkumavara on 271mm. Tämä mahdollistaa teoriassa 155-191cm pitkän kuskin ajomahdollisuuden. Laskelma on tehty olettamalla, että kuskin käsien, jalkojen ja keskivartalon suhteellinen pituus pysyy samana malliin nähden.



Kuva 10. Mallin mitoitus hallintalaitteiden hahmotusta varten.

5.2 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli osoittaa vaihtoehtoinen valmistusmalli nykyiselle fyysiselle paikotukselle. Fyysisen mittakoneen (H-piste kone) valmistus olisi ollut projektiluontoisessa työssä erittäin haastava ja aikaa vievä kokonaisuus. Korin skannaus ja suunnittelu mahdollisti myös hallintalaitteiden mallinnuksen ja paikoituksen täysin etänä, sillä mitta-data oli kiinnitettynä skannatussa mallissa. Skannauksen näkökanta toi myös mahdollisuuden muille käänteisen suunnittelun projekteille, missä CAD- mallia ei ole saatavilla.

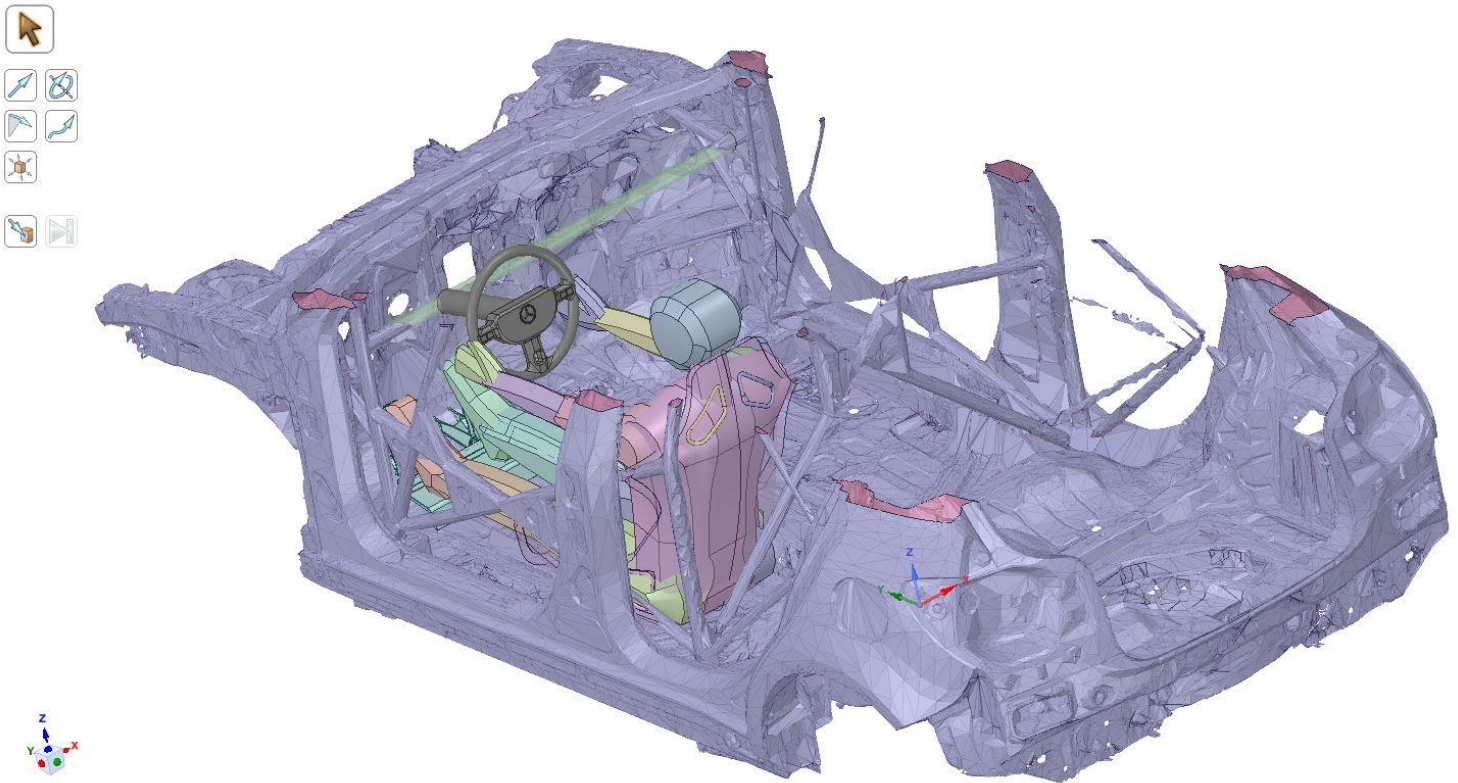
Skannauksen päätavoitteena oli nopeuttaa suunnittelua ja helpottaa mittasuhteiden hahmottamista retrofit tyylisissä projekteissa. Koin hämmästyttävänä skannauksen laadun ja helppouden. Uskon, että asenteet skannausta kohtaan ovat muuttumassa positiivisempaan suuntaan, osaksi 3d printtauksen yleistymisen takia.

Skannauksen isoimpana hyötynä koin opinnäytetyön aikana kiinnitinpaikkojen mitoituksen ja tilan hahmotuksen suunnitteluympäristössä. Pidän vertauskuvaa mielekkäänä, kun skannattua dataa verrattiin värityskirjaan. Skannattu data antaa ääriiviivat ja sisältö muodostetaan itse. Näin suunnittelua aloitettaessa, on mahdollista nähdä koko suunniteltava

ympäristö. Lisäksi on mahdollista kokeilla useaa eri toteutusmallia, ilman suurta taloudellista menetystä.

Uskon että skannattua dataa tullaan hyödyntämään tulevaisuudessa suuremmissa mittakaavassa. Opinnäytetyötä tehdessä tuli vastaan useita suomalaisia yrityksiä, mitkä harkitsivat tai olivat jo toteuttaneet samantapaisen ratkaisun tuotantoonsa. Skannatun datan hyödyt tulivat minulle henkilökohtaisesti hyvin esille, sillä jouduin asumaan suuren osan opinnäytetyöni teosta ulkopaikkakunnalla. Ilman mittadataa sisältävää mallia olisi mallintaminen ja suunnittelu ollut erittäin hankalaa. Auton skannausaika on myös suhteessa pieni vaadittavaan mallintamiseen. Haluan lisäksi kiittää yritystä Rensi Finland Oy:tä ja johtajaa Vesa Siréniä, mikä mahdollisti laitteiden ja ohjelmistojen ja laitteiden laajemman käytön opinnäytetyötä varten.

Select and drag a face to offset it. Select and drag an edge to round it.



Kuva 11. Kuvitus paikoitetusta kuljettajasta ja hallintalaitteista

LÄHTEET

Aniwaa. 3D SCANNING TECHNOLOGIES AND THE 3D SCANNING PROCESS. [Online] Aniwaa Pte. Ltd. <https://www.aniwaa.com/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/>.

Artec3D. 2020. Artec3D. [Online] Artec3D, 2020. <https://www.artec3d.com/cases>.

Autowiki.fi. 2019. Mercedes-Benz_A_(W176). *Mercedes-Benz A (W176)*. [Online] 2019. [http://www.autowiki.fi/index.php/Mercedes-Benz_A_\(W176\)](http://www.autowiki.fi/index.php/Mercedes-Benz_A_(W176)).

Chuck. 2019. What does NURBS mean and why should I care? [Online] McNeel Wiki, 26. Helmikuu 2019. <https://wiki.mcneel.com/rhino/nurbs>.

Georgopoulos, A;Loannidis, Ch ja Valanis, A. 2010. ASSESSING THE PERFORMANCE OF A STRUCTURED LIGHT SCANNER. [Online] 2010. <https://www.isprs.org/proceedings/xxxvlll/part5/papers/177.pdf>.

IEA International Ergonomics Association. *What is ergonomics*. [Online] www.iea.cc/whats/index.html.

Irmeli Sinkonen, Hannu Kuoppala, Jarno Parkkinen, Raino Vastamäki. 2002. *Käytettävyyden psykologia*. Helsinki : Edita oyj, 2002. ISBN.

Juhani Viitaniemi, Simo-Pekka Leino, Kaj Helin, Susanna Aromaa ja Arto Säämänen. 2005. Ihminen kohtaa koneen. *Tekniikka ja talous*. 2005, 2.

Kashif, Ali ja Virat, Kalra. 2018. *Vehicle Ergonomics Analysis by Comparing Hand Reach Distances to Controls*. Amity University Noida. s.l. : Amity University Noida, 2018.

Kinnunen, Aake ja Ahtiainen, Lauri. 2018. Uudenkaupungin pelastaja – Mercedes-Benz A 180 A. [Online] 2018. <https://moottori.fi/ajoneuvot/jutut/koeajo-uudenkaupungin-pelastaja-mercedes-benz-a-180-a/>.

Norman, Donald. 2001. *Design of everyday things*. Lontoo : The MIT Press, 2001. ISBN.

Nykänen, Pirkko. 2013. www.uta.fi. [Online] 4. 4 2013. [Viitattu: 24. 7 2018.] http://www.uta.fi/sis/tie/tjsuom/index/TJSUM_Luento3_2014_PirkkoNykanen.pdf.

Ojala, Henna. jyu.fi. *Ihmisten keskipituus eri maissa.* [Online]
<http://users.jyu.fi/~hmojala/TIEA361/op2/keskipituus.pdf>.

Rensi. 2020. Rensi.fi. [Online] Rensi Finland Oy, 2020. www.rensi.fi.

Service, Archaeology Data. 2018. Archaeology Data Service / Digital Antiquity.
Introduction to the Laser Scanning Guide #. [Online] 2018.
https://guides.archaeologydataservice.ac.uk/g2gp/LaserScan_1-2.

Väyrynen, Nevala,Päivinen. 2004. *Ergonomia ja käytettävyys suunnittelussa.*
Tampere : Teknologiateollisuus ry, 2004. ISBN.

KUVAT

Kuva 1. Visualisointi auton lopullisesta ulkonäöstä.

Kuva 2. Kreon merkinen Mittavarsi Ei-koskettavalla ja koskettavalla mittapäällä.

Kuva 3. Aberlink Azimuth koordinaattimittalaite koskettavalla mittapäällä.

Kuva 4. Laserskannerin toimintaperiaate

Kuva 5. Strukturoidun valon skannauksen toimintaperiaate

Kuva 6. Skannattu malli eRallycross projektin aiheista

Kuva 7. NURBS käyrän visualisointi

Kuva 8. NURBS pinnan päälle visualisoitu kuski

Kuva 9. H-point machine.

Kuva 10. Mallin mitoitus hallintalaitteiden hahmotusta varten.

Kuva 21. Kuvitus paikoitetusta kuljettajasta ja hallintalaitteista