

Polttomoottorin käännteissuunnittelu ja muutokset



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Konetekniikka, Riihimäki

Kevät 2021

Sergio Arroyo Vicente

Eero Auvinen

Tekijä	Sergio Arroyo Vicente, Eero Auvinen	Vuosi 2021
Työn nimi	Polttomoottorin käänteissuunnittelu ja muutokset	
Ohjaajat	Timo Kärppä	

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyö tarkoituksena oli suunnitella ajoneuvon moottorin osia digitaalisiin suunnittelumenetelmin ja luoda digitaaliset mallit olemassa olevista moottorin osista ja tehdä niihin haluttuja muutoksia sekä tutkia prosessissa käytettyjä menetelmiä ja käytäntöjä, kuten digitalisointi, käänteissuunnittelu, 3D-skannaus ja digitaalinen kaksonen. Opinnäytetyön kohteena olevat moottorin osat ovat kampiakseli, nokka-akselit, moottorilohko ja sylinterikansi.

Opinnäytetyö tilaajana oli Peltonen Racing Team Oy, jolta myös moottorin osat saatiin käyttöön opinnäytetyön ajaksi. Moottorin osat kuuluivat Toyota 2ZR moottoriin ja ovat osana asiakkaan tekemään moottorin suorituskyvyn parantamiseen tähtäävää projektia. Opinnäytetyössä käytettyjä työmenetelmiä olivat 3D- skannaus Hämeen Ammattikorkeakoulun Riihimäen yksikön ATOS- laitteistolla, mittaukset suoritettiin GOM Inspect -ohjelmalla ja CAD mallintaminen ja suunnittelu Autodesk Inventor -ohjelmalla.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi asiakkaan tarpeiden mukaiset digitaaliset mallit ja dokumentaation.

Avainsanat Käänteissuunnittelu, 3d skannaus, digitalisointi.

Sivut 49 s

Author	Sergio Arroyo Vicente, Eero Auvinen	Year 2021
Subject	Reverse Engineering and modifications of Combustion Engine	
Supervisors	Timo Kärppä	

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to create digital model of existing engine parts, make wanted modifications and study the processes and methods used, such as digitalizing, reverse engineering, 3D -scanning and digital twin. The engine parts covered by the project were crankshaft, camshafts, engine block and cylinder head.

The thesis was commissioned by Peltonen Motorsport Ltd; witch also provided the engine parts that were used to accomplish the project. These parts were components of a Toyota 2ZR engine and contributed to client's project increasing the engine performance. The applications used during the thesis were 3D -Scanning at Häme University of Applied Science, at Riihimäki campus with their ATOS system, measurements were obtained with GOM Inspect software and CAD modelling and drafting was made with Autodesk Inventor software.

As a result of this thesis, digital model and documentation were created for the needs of the commissioner.

Keywords Reverse engineering, 3d scan, digitization

Pages 49 p

TERMISTÖ

Abduktiivinen päättely	On perustelu, joka lähtökohtana on joukko havaintoja, ja se etenee havaintojoukon todennäköisimpään selitykseen.
ASCII- tiedosto	"American Standard Code for Information Interchange" on tekstitiedosto, jonka avulla asiakirja on helppo tunnistaa ja lukea missä tahansa alustassa tai käyttöjärjestelmässä.
Atulat	Apuväline pienten tavaroiden käsittelyyn. Synonyymi sanalle pinsetit.
Geometria	Kappaleen ominaisuuksien matemaattinen tulkinta.
Lean	Tuottavuutta ja tehokkuutta parantamaan kehitetty menetelmä, jossa pyritään tunnistamaan ja poistamaan tuottamatonta toimintaa.
Leikkauskäyrä	Viivamainen esitys, elementin ja tason leikkauksen tulos.
Liutin	Yleisnimitys aineelle johon toisia aineita liukenee ja muodostaa liuoksen.
Pistepilvi	Joukko pisteitä, jotka edustavat kohteen ulkopintaa kolmiulotteisessa koordinaatistossa.
Pistepilvidata	Tiedosto, jossa joukko yksittäisiä pisteitä kuvataan jokainen omalla koordinaattitiedolla.
Referenssipistetarra	Vertailupisteiden luomiseen käytetty itseliimautuva merkki.
Sikli	Käsityökalu. Metallinen lasta, jolla hiotaan, kaavitaan tai höylätään.

Titaanioksidi	Kemialliselta merkiltään TiO ₂ on yleisesti teollisuudessa käytetty pigmentti ja lisäaine.
Teollisuus 4.0	Organisaatiomenetelmä, joka etsii tuotantoprosessien digitalisointi, jakamalla resurssien tehokkaampi kohdentaminen ja sopeutumiskyky tuotantoprosessien tarpeisiin.
.step -tiedosto	Standard for the Exchange of Product model data -tiedosto. ISO 10303 standardin mukainen tiedosto. Sisältöpohjainen malli.
.stl -tiedosto	Standard Triangle Language -tiedosto. Esittää pinnat kolmiulotteisesti, kolmioiksi muunnettuna. Stereolitografia tiedosto.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Asiakas	4
2.1	Peltonen Motorsport	4
3	Digitalisointi.....	5
3.1	Skannaus	6
3.1.1	Yleistä 3D skannauksesta	7
3.1.2	ATOS Compact Scan M5.....	9
3.1.3	Materiaalin valmistelu	10
3.1.4	Kalibrointi	11
3.2	Skannausprosessi.....	13
3.2.1	Ongelmanratkaisu	14
3.2.2	Tietojen tulkinta	15
4	Käänteinen suunnittelu	16
4.1	Digitaalinen kaksonen.....	19
4.2	GOM Inspect – Tiedostojen tulkinta	22
4.3	Autodesk Inventor – Suunnittelu ja mallin muokkaus.....	25
5	Case Peltonen	29
5.1	Asiakkaan tarpeet	29
5.2	Osien toiminta.....	30
5.2.1	Kampiakseli	30
5.2.2	Sylinterilohko.....	31
5.2.3	Nokka-akselit.....	34
5.2.4	Sylinterikansi	35
5.3	Nokka-akselien muutostyö	36
5.4	Kampiakseli muutokset.....	38
5.5	Sylinterilohkon mittavaatimukset.....	44
5.6	Sylinterikannen muutostyö.....	44
6	Yhteenveto	45
	Lähteet.....	47

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1. Peltonen yrityslogo (Peltonen Motorsport, 2020)	4
Kuva 2. Esimerkki (Grieves & Vickers, Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems, 2017, s. 93)	5
Kuva 3. Auton korin CMM-mittaaminen (zeiss.com, 2021)	7
Kuva 4. Laser tekniikalla toimiva 3D -skanneri. (Artec 3D, 2021)	8
Kuva 5. Kameran, projektorin ja järjestelmän periaatteen kuvaus (Funke, 2021, s. 13) ..	8
Kuva 6 Atos Compact Scan M5 (GOM mbH, 2011, s. 5) laitteistokokonaisuus.....	9
Kuva 7. Tarrat (Reference point markers: Zebicon, 2021)	10
Kuva 8. Kuva levyistä (GOM mbH, 2011, s. 24)	11
Kuva 9. Kuva levyistä (GOM mbH, 2011, s. 29)	12
Kuva 10. Kuva säädöistä (GOM mbH, 2011, s. 23)	12
Kuva 11. Leikkaustyökalu (GOM mbH, 2014, s. 59)	13
Kuva 12. Referenssipisteet (GOM mbH, 2014, ss. 25- 41)	13
Kuva 13. Kaksoiskuvaus (GOM mbH, 2014, s. 57)	14
Kuva 14. Suunnittelu työnkulun kaavio (Cross li & Chikofsky, 1990, s. 14)	17
Kuva 15. Projektityön vuokaavio	18
Kuva 16 Valmistusprosessin digitaalinen kaksoismalli (Parrott & Warshaw, 2017, s. 5)21	
Kuva 17 Pistepilven yksityiskohdat.....	22
Kuva 18 Monikulmainen verkko	23
Kuva 19. Kohdistus koordinaattijärjestelmässä.	23
Kuva 20. Nokan leikkauskäyrä.	24
Kuva 21. Mitat ja geometriset muodot saaminen.....	25
Kuva 22. Halkaisijoiden ja etäisyyksien saaminen.....	27
Kuva 23. Ulottuvuudet siirretty Inventor: iin	28
Kuva 24. Vertailukuva	29
Kuva 25 Kampiakseli komponentit	31
Kuva 26 Paineikiertovoitelu (Robert Bosch GmbH, 2003, s. 452)	32
Kuva 27 Nestekiertoinen jäähdytysjärjestelmä (Robert Bosch GmbH, 2003, s. 450)	33
Kuva 28 Nokka-akselit osana moottoria (Rantala, 2002, s. 81).....	34
Kuva 29 Nokka-akselin poikkileikkaus (Rantala, 2002, s. 84)	35
Kuva 30 Venttiilikoneiston poikkileikkaus (Rantala, 2002, s. 82)	36

Kuva 31 Kuvakaappaus nokka-akselin pinnasta.	37
Kuva 32 Nokka-akselien valmiit v2 kuvat.	37
Kuva 33 Kuvakaappaus kokoonpanosta.	38
Kuva 34 Kampilaakerikaulan halkaisijan ja leveyden	39
Kuva 35 Kampiakselin pää muutos.....	39
Kuva 36 Vastapainot viistämien	40
Kuva 37 Vastapainon paksuuden vähentäminen	41
Kuva 38 Valmistusmenetelmä vertailu.....	42
Kuva 39 Vastapainon sovitinkappale.....	43
Kuva 40 Lopullinen versio 1.3 sylinterikannesta.	44
Kuva 41 Sylinterikannen pinnan korkeuseroja	45
Kuva 42 Valokuva fyysisestä mallista ja kuvakaappaus versio 1.3 Inventor -ohjelmasta.	45

1 Johdanto

Digitaalisuus koneensuunnittelussa on mahdollisimman käyttökelpoisten mallien tuottaminen oleellisen tärkeä tekijä, joita voidaan hyödyntää erityyppisissä digitaalisissa sovelluksissa. Tällaisia sovelluksia, joissa digitaalisuutta hyödynnetään täysimääräisesti ovat mm. lujuussimuloinnit, cad mallinnus

Tämä opinnäytetyö on tehty Peltonen Motorsportille. Sen tarkoituksena on tuottaa digitaalinen malli fyysisestä mallista ja myöhempi muunnos asiakkaan toiveiden mukaan, käänteisen suunnittelun avulla. Tämän prosessin toteuttamiseksi on käytetty yhdistettyä kolmiulotteista skannaustekniikkaa, analogisia mittauksia, 3D-tulostettuja prototyyppejä ja CAD-mallin parametrien muokkausta alkuperäistä ja tämän tuloksena syntyy parannettu moottori.

Käänteisuunnittelun lähtökohtana on valmis osa tai tuote, josta mallintamalla, luodaan digitaalinen malli ja jatketaan suunnittelua sen pohjalta. Perinteisessä suunnittelussa luodaan ensin piirustus.

Mallisuunnittelun avulla hyödynnetään osan alkuperäisiä geometrioita, jossa tuotantomenetelmän ja kulumisen tuomat erityispiirteet tulevat esille ja syntyy uusi osa alkuperäisen pohjalta ja asiakkaan tarvitsemien muutosten mukaan.

Tutkimuksen kohteena on Toyota 2ZR moottori, jolle tarvittavaa teknistä dokumentaatiota ei ole ollut saatavilla ja mahdollistaisivat suunnittelun niiden pohjalta. Tästä syystä suoritetaan käänteinen suunnitteluprosessi, jotta kaikki tarvittavat tiedot saadaan alkuperäisestä mallista. Näin uudet mallit säilyttävät alkuperäiset mitat asiakkaan haluamia muutoksia lukuun ottamatta ja näiden muutosten pohjalta syntyneet uudet osat sopivat yhteen vanhojen kanssa. Täten lisätään suorituskykyä asiakkaan tarpeiden mukaisesti.

Tämän opinnäytetyön tutkimuskysymyksenä on: Millä keinoin voidaan muokata olemassa olevia moottorin osia pelkän fyysisen mallin avulla?

Tässä työssä muokkaamisella tarkoitetaan kappaleiden muuttamista digitaalisessa ympäristössä siten, että rakennetaan uusi kappale 3D -skannauksen avulla ja uusi kappale on myöhemmin valmistettavissa vaatimusten mukaiseksi.

Moottorin osilla tarkoitetaan toimeksiantajan toimittamaa Toyota 2ZR moottorin lohkon sylinteriosan lisäkappaletta, kampiakselia, sylinterikannen venttiilialueen geometriaa sekä kahta nokka-akselia.

Fyysisellä mallilla tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan asiakkaan alkuperäisiä moottorin osia.

Dokumentaatiolla tarkoitetaan tässä työssä kaikkia tarvittavia geometriaan ja valmistukseen liittyvää digitaalista tai aineistollista tietoa.

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin tarkastelemaan seuraavia aiheita.

Digitalisointi: Skannausprosessissa saadaan digitaalinen malli kustakin fyysisestä kappaleesta. Näistä digitaalisista malleista otetaan kaikki tarvittavat geometriatietoa osien uudelleensuunnittelua varten.

Skannausprosessilla tässä opinnäytetyössä tarkoitetaan alkuperäisen kappaleen pohjalta luodun pistepilvimallin luomista. Prosessi suoritetaan passiivisen optisen skannerin avulla, jolloin saadaan tiedosto, joka sisältää kaikki tarvittavat geometriat. Tämä skannausmenetelmä vaatii osien perusteellisen valmistelun luotettavien geometria ja mittausarvojen saamiseksi.

Käänteissuunnittelu: Digitoinnin aikana saadut mittaukset on tulkittu ja siirretty digitaaliseen CAD-malliin kaikki toiminnalliset mitat. Osien käytön aiheuttamat muodonmuutokset sekä niiden kuluminen on otettu huomioon. Tässä vaiheessa on omaksuttu käänteissuunnittelun ja 3D -skannauksen käytön suuret hyödyt. Käytetyt prosessit antoivat loistavan mahdollisuuden käyttää ja tarkastella aiemmin tehtyä suurta määrää suunnittelutyötä, jolloin aikaa ja resursseja säästy.

Soveltamalla käänteistä suunnittelua tässä projektissa on hyödynnetty alkuperäisen tuotteen sisältämää tietoa, joka on muuten saavuttamaton tarvittavan aineiston ja digitaalisen mallin

puuttuessa. Kappaleita on analysoitu ja niiden toimintaan syvennetty; miten se rakennettiin, mitkä materiaalit valittiin sekä sen suunnittelun perusteet. Kun nämä käsitteet on omaksuttu, alkuperäinen muotoilu on mukautettu uusiin tarpeisiin.

Mallin muokkaus: Tässä viimeisessä opinnäytetyön luvussa asiakkaan toivomien muutosten toteutuminen on arvioitu uudelleen yhteistyössä asiakkaan ja suunnittelutiimin kanssa. Tällä tavoin on varmistettu kaikkien pyydettyjen muutosten toteutus kussakin osassa.

Moottorilohko: Analyysi kiinnitysruuviin sijainnista ja kosketuspinnista: sylinterin, jäähdytys- ja voitelupumppujen, kampikammion ja vaihdelaatikon tasot.

Kampiaksieli: Laakeriradan laajentaminen. Vastapainojen määrän lisääminen. Kampiakselin ja kampiakselin akselin välisen etäisyyden pienentäminen. Hammaspyörän poistaminen kampiakselin päästä.

Nokka-akseli: Molempia akseleiden keventäminen poistamalla olakkeita sekä kappaleiden mallinnus mahdollisia geometriamuutoksia varten.

Sylinterikansi: Geometrioiden mallintaminen asiakkaan tarpeisiin, tulevien lisämuutosten toteuttamista varten.

Tämän työn konkreettisenä tuloksena syntyy digitaaliset mallit kohteena olevista osista sekä step- ja .stl-tiedostot kohteista valmistusta varten, sekä asiakkaan haluamat mekaaniset muutokset.

Tutkimusmenetelminä käytettiin kokeellista cad mallinnusta ja 3D -skannausta.

2 Asiakas

Esa Peltonen, Peltonen Motorsport oy:stä oli yhteydessä kouluun ja kertoi ongelmista moottorin kehityksen kanssa. Heillä oli tarve luoda digitaalinen malli moottorin osista tutkimusta ja kehittämistä varten. Tämän asiakkaan kanssa pidetyn puhelinkeskustelun pohjalta ja myöhemmin pidetyn tapaamisen pohjalta muodostui alkuun kaksi opinnäytetyö kokonaisuutta, jotka lopuksi liitettiin yhdeksi opinnäytetyökokonaisuudeksi. Lähteenä käytetty Team- keskustelua 4.2.2021 Konetekniikan lehtori Timo Kärpän kanssa.

2.1 Peltonen Motorsport

Olemme kilpamoottoreihin erikoistunut suomalainen asiantuntijayritys.

Peltonen Motorsportin perustaja Esa Peltonen ajoi ensimmäisen rallinsa jo 1980-luvulla. Kisamenestyksen ja asiakastilausten kasvaessa yritys aloitti kilpamoottorien viritystoiminnan 1990-luvun alussa. Peltonen Motorsportin valmistamilla tehokkailla ja luotettavilla kilpamoottoreilla on ajettu menestyksekkäästi ympäri maailmaa jo yli 30 vuotta. Tästä osoituksena on Euroopan mestaruus FiA European Historic Sporting Rally Championship-sarjassa vuonna 2016 yhtiön rakentamalla Toyota Starletilla.

Yritys toimii asiantuntijana Toyota Starlet K-, Toyota Corolla GT 4A-GE- ja BMW M50B25-moottorien virittämisessä yhteistyössä Lampola kilpavaihteistojen kanssa. Tarjoaa myös kattavat kilpaosa- ja rengaspalvelut sekä Kendall-moottoriöljyjen myynnin.

Toimintamallit perustuvat asiantunteviin ja asiakaslähtöisiin kansi- ja moottoritöihin, jotta sinä asiakkaanamme saat juuri haluamasi ominaisuudet kilpa-autostasi esille. (Peltonen Motorsport, 2020)

Kuva 1. Peltonen yrityslogo (Peltonen Motorsport, 2020)



3 Digitalisointi

Digitalisoinnilla tarkoitetaan yleisesti esineen, asian tai toiminnan muuntamista digitaaliseen muotoon. Usein käytetään myös digitointi termiä. Digitalisointi ja tästä saadun datan tehokas hyödyntäminen ja omistaminen koetaan tulevaisuuden vallan, kilpailukyvyyn ja kehityksen välineenä ja on listattu yhdeksi aikamme megatrendejä eli maailmanlaajuinen kehityssuunta (Sitra, 2021, s. 9). Digitalisointi edistää nopeampaa ja tehokkaampaa uusien tuotteiden kehitystä, auttaa yrityksiä kohtaamaan asiakkaan tarpeet ja personoimaan tuotteitaan energiaa ja resursseja säästäten. Tuotteen elinkaaren pidentäminen ja parempi hyödyntäminen sen aikana (Teknologian tutkimuskeskus VTT oy, 2021, ss. 3- 4). Digitaalinen kaksonen on osa takaisinsuunnitteluprosessia (Kuva 2. Esimerkki). Digitalisointi on myös osana Lean ajattelun toteutusta. Tässä ajattelussa turha toiminta pyritään löytämään ja poistamaan. Lean menetelmä on luotu pääosin Toyota Motor Companyn kehittämän, Toyota Production Systemsin tuotanto mallin pohjalta (Toyota Motor Company, 2021).

Kuva 2. Esimerkki (Grieves & Vickers, Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems, 2017, s. 93)

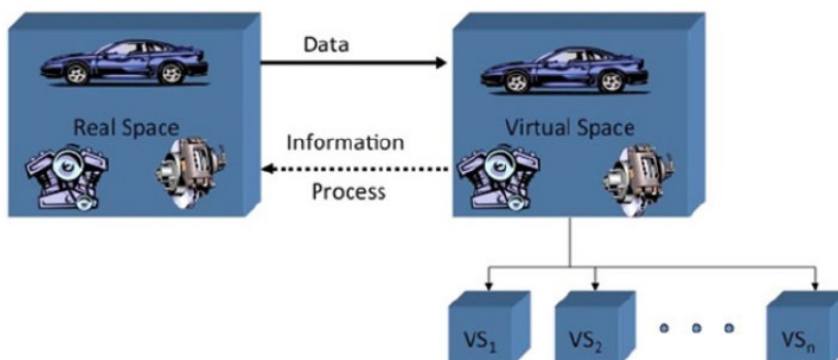


Fig. 3 Conceptual ideal for PLM. Dr. Michael Grieves, University of Michigan, Lurie Engineering Center, Dec 3, 2002

Teollisuus 4.0 on käsite, joka sai alkunsa Saksan hallituksen 2006 korkean teknologia strategiasta ja on nykyisin osa EU:n 2020 strategiaa digitaalisten yhtenäismarkkinoiden luomiseksi (Euroopan komissio, 2021, s. 3). Tämä strategia tähtää teollisuuden kaikkien osa-alueiden digitalisointiin ja mahdollistaa digitaalisen datan hyödyntäminen paikasta riippumatta (ERPS & Davies, 2021). Esineiden internet eli IoT ja Teollisuuden IoT ovat tuoneet suuren muutoksen digitaalisen datan hyödyntämiseen ja on mahdollistanut aivan uuden tavan saada reaaliaikaista tietoa suoraan laitteista verkon yli sekä kokonaan uudenlaisten dataa hyödyntävien älytuotteiden, ohjelmistojen ja palveluiden kehityksen. Näissä koneissa ja laitteissa vuorovaikutus koneiden kanssa on mahdollista ja erilaisten anturien lähettämää dataa voidaan analysoida ja hyödyntää digitaalisesti. (Hakanen, ym., 2021)

Digitalisoinnin vaiheet moottorin osien kohdalla olivat:

-Kappaleen skannaus pistepilvidataksi.

-Pistepilvidatan muuntaminen polygoniseen muotoon.

-Datan editointi pinnoiksi ja puutteellisen tai huonon data korjauksen.

-Geometrioiden tulkinta ja tarkastus ja manuaalinen siirto CAD ohjelmaan.

Lopuksi digitaalisen kaksosen luonti ja asiakkaan haluamat muutokset (Hindrichs, 2015, ss. 160- 167).

Digitaalisen kaksosen luomiseen tarvittavan pistepilvidatan saamiseen on olemassa eri tekniikoita. koskettava koordinaattimitauslaite,2D- fotogrammetria. 3D- skannerit; projektoriskanneri ja viivalaserskanneri.

3.1 Skannaus

Skannauksen lopputulos on käytetystä tavasta riippumatta digitaalinen malli alkuperäisestä ilman mitta, materiaali tai pinta tietoa. Tässä osassa käydään läpi yleisimpiä tekniikoita

skannauksen suorittamiseen sekä kuvataan ja tutkitaan opinnäytetyössä käytettyä tekniikkaa ja käytäntöä.

3.1.1 Yleistä 3D skannauksesta

Koordinaattimittauslaite, CMM on jo pitkään käytössä oleva tekniikka kolmiulotteisessa skannauksessa. Ensimmäiset laitteet tulivat autoteollisuuteen vuonna 1965 (Hocken & Pereira, 2012, s. 35). Skannaus tapahtuu laitteessa kiinni olevan anturin paikan määrittämiseen mitattavan kappaleen pintaa pitkin liikuttaessa joko käsin tai tietokoneohjatusti.

Kuva 3. Auton korin CMM-mittaaminen (zeiss.com, 2021)



Kosketukseen perustuvan mittauksen rinnalle kehitetty halvempi, nopeampi ja monipuolisempi järjestelmä. Pintojen kolmiulotteisen muodon mittaamiseen käytettäviä, ei koskettavia menetelmiä ovat. Interferometri, laserkeilaus ja strukturoituun valoon perustuva monikamerajärjestelmä (Elsevier Science, 2010).

Interferometrissä tulkitaan muodostettua aaltoa. Usein valo tai laser, joka jaetaan kahdeksi aalloksi puoliläpäisevän peilin avulla ja niiden takaisinheijastuksen muutoksesta tulkitaan etäisyyttä ja muotoa. Menetelmää käytetään niin tähtitieteessä, kuin teollisuuden mittalaitteissa (Zetie;Adams;& Tocknell, 2021, s. 46).

Laserkeilaus on yleinen menetelmä isojen alueiden etäisyyksien mittaamiseen. Lasersäteen matka aika osuvaan kohteeseen ja takaisin mitataan ja sen avulla saadaan luotua kolmiulotteinen kuva ympäristöstä. Samalla periaatteella toimii myös Lidar, jossa heijastetaan laserin sijasta valoa. Lidar on yleisesti käytetty tekniikka maanmittauksessa ja autojen tutkajärjestelmissä. Lidar tekniikan käyttämät komponentit hinnat ovat laskeneet ja mahdollistavat tulevaisuudessa laajemman käytön, esimerkiksi kohtuuhintaiseen ja tarkkaan

pienempien kappaleiden 3D skannauksessa. Kuvassa alla langaton ja käsikäyttöinen Laser - tekniikkaa hyödyntävä 3D -skanneri, jolla päästään jo 0,1–0,2 mm tarkkuuteen.

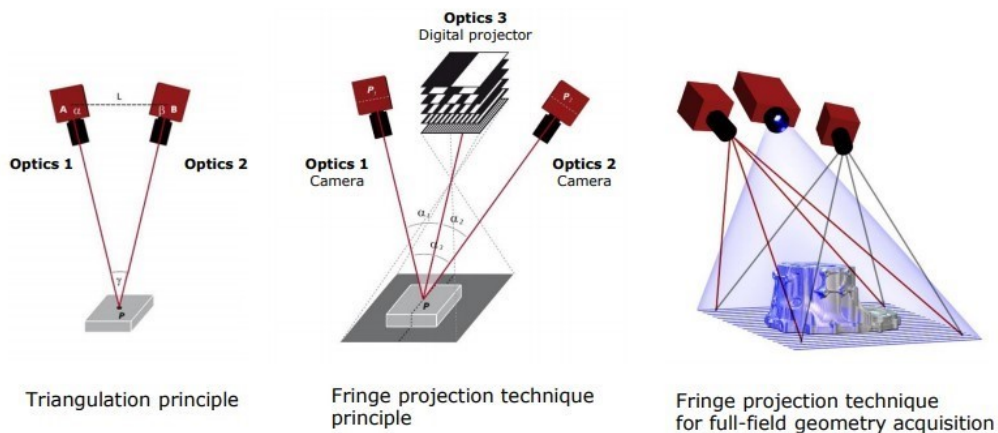
Kuva 4. Laser tekniikalla toimiva 3D -skanneri. (Artec 3D, 2021)



Strukturoituun valoon perustuva monikamerajärjestelmä perustuu ennalta määritetyn projektiokuvion muutoksen tulkintaan, kuvattavan kohteen geometrian määrittämiseksi yhden tai useamman kameran avulla.

Ensimmäiset järjestelmät toimivat vain yhtä kameraa käyttäen, mutta nykyisissä järjestelmissä on joko kaksi tai kolme kameraa projektorin lisäksi, jossa kuvatarkkuus on paljon suurempi. Strukturoitu valo voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. valkoisella, sinisellä ja moniväritekniikalla. Näistä yleisimmin käytössä jälkimmäiset, joilla taustavalon aiheuttamia vääristymiä saadaan minimoitua. Edelleen käytettävä projektiio voi muodostua pystysuorista viivoista, ristikosta tai pisteistä muodostuvaa kuviota, joko yksittäisenä kuvana tai toistamalla niitä useaan kertaan mittakaavaa muuttaen (Luhmann, 2011) kuvajaksokoodausta käyttäen (Elsevier Science, 2010). Opinnäytetyön digitointi on suoritettu alla näkyvän kuvan mukaista tekniikkaa hyväksikäyttäen. Siinä kameroiden etäisyys ja kulman mukaan ohjelma pystyy muodostamaan kolmiulotteisen pistepilven, joka muodostuu projektorin sinisen valon heijastamasta eri paksuisten viivojen heijastuksen muutoksesta.

Kuva 5. Kameran, projektorin ja järjestelmän periaatteen kuvaus (Funke, 2021, s. 13)



3.1.2 ATOS Compact Scan M5

ATOS järjestelmä koostuu skannerista, tietokoneesta, jalustasta, linseistä eri kokoisten kappaleiden skannausta varten sekä kalibrointi välineistä (Kuva 6 Atos Compact Scan M5).

Kuva 6 Atos Compact Scan M5 (GOM mbH, 2011, s. 5)



Stationary System

Skanneri sisältää projektoria, englanniksi Fringe Projector, stereokameran, virtalähteen ja datakaapelin.

Skannerin resoluution on 2448 x 2050 pikseliä ja ottaa 5 miljoonaa mittapistettä yhdellä skannauksella. Mittapisteen väli on 62–250 μm . Skanneriin on saatavilla kolme vaihtoehtoista kiinnikettä linseille, joilla polttoväliä voidaan muuttaa skannattavan tilavuus ja halutusta tarkkuudesta riippuen. Linssien kiinnitteet on merkitty koon mukaan laskevasti 500,300 ja OS eli on lyhenne englannin sanoista Optical Stabization ja tässä linssissä on automaattinen kuvanvakautus, joka automaattisesti tarkentaa otetun kuvan. Käytetyssä skannerissa tämä oli 300. Suositeltava kappaleen koko tälle polttovälille minimi tilavuus 150 x 110 x 110 mm ja maksimi tilavuus 600 x 400 x 400 mm, joka soveltui kappaleiden

skannaamiseen. Skannerissa on vaihdettavissa kolme eri linssikokonaisuutta. 600 x 450 x 450, 300 x 230 x 230 ja 150 x 110 x 110 mm. Sarjat on merkitty lyhenteillä 600,300 ja 150, joista kaksi stereokameralle (L ja R) ja yksi valonheittimelle(P). Jokaiselle sarjalle on mukana omat kalibrointilevyt. Jalusta, joka auttaa kohteen tarkentamisessa ja vakauttaa kameraa (GOM mbH, 2011, ss. 11-15).

3.1.3 Materiaalin valmistelu

Ennen skannauksen aloitusta tulee kappaleet puhdistaa huolellisesti. Skannatuissa kappaleissa olevat tiivisteiden jäämät poistetaan sikliä ja liuotinta hyväksikäyttäen. Öljy ja muut epäpuhtaudet, kuten pöly ja roskat pyyhittiin huolellisesti, jolla varmistetaan referenssipistetarrojen kiinnittyvyys ja titaanioksidin tasainen levittyvyys. Skannauksessa ohjelma käyttää hyväkseen referenssipistetarroja kolmiulotteisen kuvan muodostamiseen ja kuvaus tyylistä riippuen kiinnitetään joko suoraan tuotteeseen tai kappaleeseen kiinnitettyyn kuvauskehikkoon. Skannatuissa kappaleissa referenssipistetarrat (Kuva 7. Tarrat) kiinnitettiin suoraan kappaleen pintaan valmistajalta saaduilla atuloilla.

Kuva 7. Tarrat (Reference point markers: Zebicon, 2021)



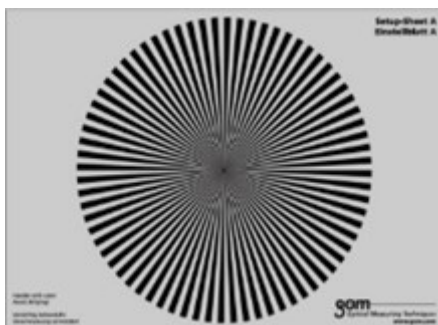
Referenssipistetarroja on useaa eri kokoa ja ne valitaan, kullionkin käytetyn objektiivin mukaan. Tarrojen asettelussa suositellaan, että tarroja ei tulisi laittaa lähelle kappaleen reunaa tai toista tarraa suosia tasaisia pintoja ja välttää tarrojen kiinnittämistä suoriin linjoihin tai liian kaareville pinnoille parhaan lopputuloksen saamiseksi. Kaarevalla pinnalla ohjelman on vaikea tunnistaa kappaleen orientaatiota tarran kaareutuessa. Tarroja kiinnittäessä tulee huomioida, että tarrojen määrä ei vaikuta saavutettuun tarkkuuteen. Tarrojen kiinnityksen jälkeen valmistaja suosittelee kappaleiden käsittelyn titaanioksidi sprayllä, jotta heijastavista pinnoista saadaan paras mahdollinen skannaustulos. Skannatut

moottorin osat sisälsivät paljon heijastavia metallipintoja, joten kappaleet käsiteltiin kauttaaltaan titaanioksidilla. Tämän jälkeen referenssipistetarrat vielä puhdistettiin yksitellen pumpulipuikkoa ja liuotinta hyväksikäyttäen, jolla tarrojen erottumista skannatessa pyrittiin parantamaan (GOM mbH, 2015, ss. 25- 30).

3.1.4 Kalibrointi

Tasalaatuisen ja vertailukelpoisen kuvausmateriaalin takaamiseksi on erittäin tärkeää, että laitteen tarkkuus pysyy samana ja tämä varmistetaan kalibroimalla laite. Tietyissä tilanteissa, kuten linssien vaihdon, käyttöönoton tai järjestelmän pyynnöstä joudutaan suorittamaan kameroiden, projektorin ja etäisyys laserin kalibrointi. ATOS Compact Scan M5 laitteiston mukana tuleva ohjelmisto ATOS V7 Software sisältää kaksi kalibrointi toimintoa. Laaja ja suppea. Laaja, jolloin kaikki skannerin osat kalibroidaan yksitellen. Tämä suoritetaan objektiivien vaihdon yhteydessä ja skannerin kasauksen jälkeen. Suppea, jos kuvausolosuhteissa tapahtuu muutos laitteistossa tai ympäristössä, että yksittäistä osaa joudutaan säätämään erikseen. Laitteiston mukana toimitetaan kalibrointia varten erillisiä sarjoja kalibrointiin tarkoitettuja levyjä, jotka valitaan käytössä olevan polttovälin ja objektiivi valinnan mukaan.

Kuva 8. Kuva levyistä (GOM mbH, 2011, s. 24)

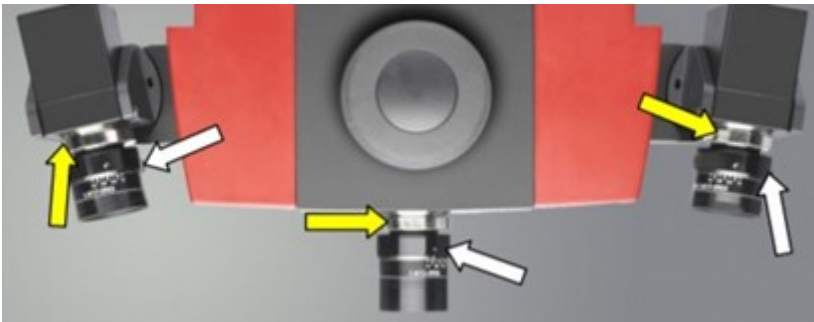


Kuva 9. Kuva levyistä (GOM mbH, 2011, s. 29)



Ohjelmisto ohjaa käyttäjää kalibrointi ohjelman läpi kohta kohdalta, kunnes vaadittava tarkkuus on saavutettu. Kalibrointia varten skanneri suunnataan telineessä pystysuoraan alaspäin ja kalibrointilevyt asetetaan lattialle. Lisäksi sensoreiden tulee olla lämmitetty ennen kalibroinnin aloitusta, että kalibrointi olosuhteet vastaavat kuvaus olosuhteita. Kameroiden kohdistus tapahtuu kiinnitysruuveja löysäämällä ja manuaalisesti kääntämällä oikeaan asentoon ohjelman avustuksella. Ohjelma tunnistaa automaattisesti kiinnitettyt objektiivit. Aukon ja tarkkuuden säätö tapahtuu löysäämällä lukitusruuvi ja kääntämällä säätörengasta. Kuvassa alla on merkitty aukon säädöt valkoisella ja tarkkuuden säädöt keltaisella nuolella.

Kuva 10. Kuva säädöistä (GOM mbH, 2011, s. 23)



Jokaisesta kalibroinnista ohjelma laatii raportin, johon on koottu yksityiskohtaiset tulokset saavutetuista tarkkuuksista (GOM mbH, 2011, ss. 17- 39).

Skannausta tehdessä vaihdettiin kappaleiden koon kasvaessa linsejä vastaamaan paremmin optimi kuvausalueita, tällöin suoritettiin laaja kalibrointi, jolloin kaikki säädöt jouduttiin

kalibroimaan uudelleen. Lisäksi tehtiin yksittäisiä säätöjä valaistuksen muututtua ja kosketuksen aiheuttamien epätarkkuuksien korjaamiseksi.

3.2 Skannausprosessi

Ennen kuvauksen alkua avataan ohjelmasta joko uusi projekti tai ladataan tallennettu, mikäli saman kappaleen kuvaus jatkuu ja varmistetaan, että laitteet toimivat ja ovat käyttövalmiina. Esivalmisteltu kuvattava kappale asetetaan kuvausalustalle, jonka pinta mahdollisimman heijastamaton. Tästä huolimatta jokainen kuvaus kulman muutos aiheuttaa taustaheijastuman muutoksen ja ennen siirtoa se tulee leikata valmiista pistepilvi kuvasta pois mahdollisimman tarkasti ohjelman leikkaa työkalun avulla. (Kuva 11. Leikkaustyökalu)

Kuva 11. Leikkaustyökalu (GOM mbH, 2014, s. 59)

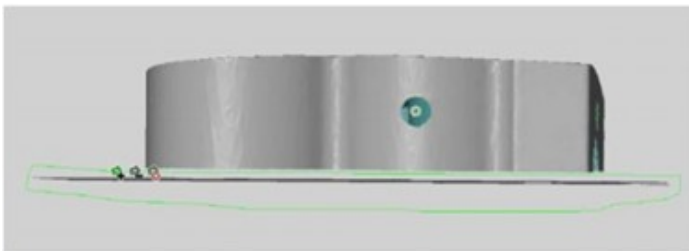
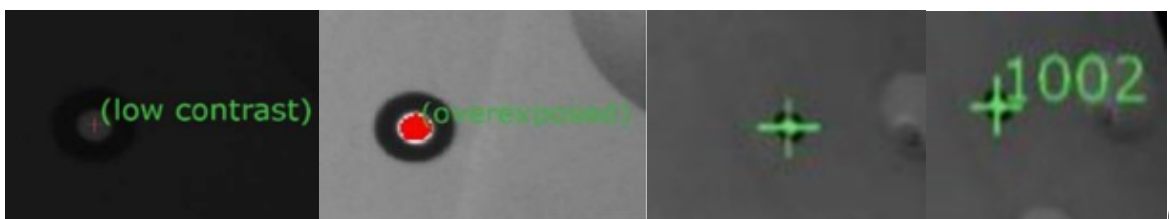


Fig. 51: Selecting background points

Skanneri suunnataan kappaleeseen ja ensimmäistä kuvaa ottaessa pyritään saamaan kuvausalueelle mahdollisimman monta referenssipistetarraa, jotka näkyvät ohjelman ruudulla vihreinä risteinä. Yli- tai alivalottuneet pisteet näkyvät kuvassa punaisina, jolloin kontrastia säätämällä, skannerin etäisyyttä tai kulmaa kappaleeseen vaihtamalla voidaan saada ohjelman tunnistamiksi. Kuvan ottamisen jälkeen ohjelma numeroi tunnistamansa pisteet automaattisesti juoksevalla numerolla. (Kuva 12. Referenssipisteet)

Kuva 12. Referenssipisteet (GOM mbH, 2014, ss. 25- 41)



Tämän jälkeen kuvausta jatketaan kappaletta tai kameraa siirtämällä seuraavaan kohtaa niin, että ohjelma tunnistaa vähintään kolme aiemmin tunnistettua pistettä ja uusia pisteitä tai skannaamattomia kohtia kappaleesta saadaan mukaan kuvaan, valoitusta säätäen (Kuva 13. Kaksoiskuvaus).

Kuva 13. Kaksoiskuvaus (GOM mbH, 2014, s. 57)

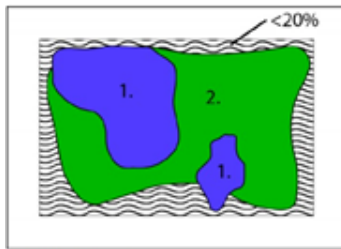


Fig. 49: Visualization of two exposure times

Jokainen kuva tarkastetaan ottamisen jälkeen ja tarkastetaan, onko se relevantti. Jokaista otettua kuvaa voi tarkastella erikseen ja osana kokonaisuutta. Turhat ja epäonnistuneet kuvat poistetaan heti, jotta ne eivät vie muistia. Kappaleen koosta riippuen kuvia voi kertyä satoja, joten jälkikäteen tarkastus on hyvin työlästä. Pienempien kohteiden kuvaamiseen valittiin 300 x 230 x 230 mm objektiivit ja siitä siirryttäessä suurempiin kappaleisiin vaihdettiin 600 x 450 x 450 mm objektiiveihin ja laitteet kalibroitiin. Yhden kappaleen kuvaamiseen kului minimissään 2 tuntia. Lisäksi kuvauspäivien alussa aikaa kului aloittaessa objektiivien lämmitykseen noin 30 min. Käyttökoulutus skannerille alkoi tiistaina 6.10.2020. ja kaikki viisi osaa oli kuvattu perjantaihin 9.10.2020 mennessä. Aina kuvausten päätteeksi kuvat käytiin vielä yksitellen läpi ja turhat kuvat pyrittiin poistamaan ja mahdolliset taustan varjostumat leikattiin pois ja työ tallennettiin, Skannerin omana. .atos -tiedostona. Tämän jälkeen pistepilvi tiedostosta poistettiin referenssipisteiden tiedot ja valmis projekti tallennettiin uudelleen.

3.2.1 Ongelmanratkaisu

Kulku työskentelytilaan rakenteilla olevan luokan läpi kulkuoikeuden saanti byrokraattisesti osoittautui mahdottomaksi yrityksistä huolimatta.

Opastuksen, käyttökoulutuksen ja käyttöohjeiden järjestäminen laitteelle osoittautui haastavaksi, mutta järjestyi lopulta nopealla aikataululla.

Kappaleiden valmistelua varten oleva alipainekaappi hieman liian pieni ja kehnosti sijoiteltu. Titaanioksidin leviäminen huoneeseen mahdollista. Suurempia osia käsiteltiin ulkona, koska kaappi oli liian pieni. Valmisteluista ja säädöistä huolimatta varjokohtien esiin saaminen vaati titaanioksidin lisäämistä pumpulipuikolla.

Työskentelytilan valaistus ei ollut optimaalinen kuvaamiseen, vaan aurinkoisena pilvipouta päivänä valaistus muuttui jatkuvasti ja hidasti kuvausta merkittävästi. Valaistuksen pitäminen tasaisena haastavaa kuvauspaikan ikkunoiden sälekaihtimien avulla.

Skannauksessa kuvattavaa kappaletta tulisi siirrellä mahdollisimman vähän. Valmistaja suosittelee pyörivää alustaa ja tuentoja, mikäli mahdollista, jolloin kappaleen kuvaus helpompaa ja nopeampaa, koska tällöin referenssipisteiden paikoitus on nopeampaa ja kappaleen kulman kameraan muuttuessa taustaheijastuksen taso ei muuttuisi ja näin helpompi poistaa kuvasta. Lisäksi järjestelmän automatisointi mahdollistuu (GOM mbH, 2014, s. 8). Kappaleiden, joissa ei ole tasaista pintaa tuenta kuvausta varten haastavaa ja kulman muutoksen aiheuttaman taustaheijastuman poisto hidasta.

Teline käytössä epävakaa ja kuvaus ajoittain hidasta olemattoman heilumisen takia. Valmistajalla tarjolla robottia hyväksikäyttävä manipulaattori käteen integroitu ratkaisu (gom-scancobot) ja koululla seuraavassa luokassa käyttämättömiä robotteja ja osaamista.

3.2.2 Tietojen tulkinta

Pohdinta. Skanneria käyttäville opiskelijoille, joko yhteinen kulkulupa tai muu järjestely, koska skannausten kestot lyhyitä ja kulkuluvan haku hankalaa ja aikaa vievää. Skannaustilan pimentämiseen tulisi kiinnittää huomiota, koska valaistuksen tulisi pysyä samana skannauksen aikana ja olemassa olevat verhot ja kaihtimet riittämättömiä esimerkiksi aurinkoisina päivinä. Kuvauspaikan siirto ikkunattomaan huoneeseen hyvä harkita. Alipainekaapin asennus kunnollisine läpivienteineen ja mahdollinen paikka isompien kappaleiden käsittelyyn. Pyörivän alustan ja tuentojen kehittämistä sekä mahdollista robotti integraatiota kiinnikkeineen kannattaisi harkita esimerkiksi oppilastyönä, jolloin skannauksia voisi mahdollisesti tehdä nopeamman ja laadukkaammin ilman isompaa rahallista satsausta. Käytössä oleva laitteisto soveltuu parhaiten käytettäväksi sille optimoiduissa tiloissa ja vaikka

laitteisto voidaan tarvittaessa siirtäminen ja kasaaminen muualla, mutta on se hidasta ja vaatii kuvauspaikan, jossa olosuhteet sopivat skannerille. Lisäksi skannerin vaatiman tarkkuuden saamiseksi värinän poistaminen kuvauksen aikana haastavaa. Tähän tarkoitukseen soveltuvat paremmin uudenlaiset käsiskannerit, joilla päästään jo samaan tarkkuuteen ja ne pohjautuvat samaan strukturoidun valon monikamera tekniikkaan, kun käytössä ollut laitteisto (Scantech TM, 2021).

4 Käänteinen suunnittelu

Ennen käänteisen suunnittelun käsitteen määrittelemistä on ymmärrettävä, mikä on perinteinen suunnittelu ja sen vaiheet.

Perinteinen tekniikka perustuu tieteelliseen sekä teknologiseen tietoon, ja tavoitteena on ratkaista ongelmat tai täyttävät tietyt vaatimukset.

Prosessi alkaa joistakin tarpeista tai spesifikaatioista. Seuraavaksi kehitetään suunnittelu, joka sisältää alkuperäiset vaatimukset ja rakennusmenettelyn. Lopuksi tämä muotoilu toteutetaan, mikä johtaa lopputuotteeseen.

Kun perinteinen työnkulku on kuvattu, ei ole vaikea ymmärtää käänteistä suunnitteluprosessi, joka kääntää osittain tai kokonaan perinteisen suunnittelun vaiheet.

Käänteinen tekniikka on siis objektin tai järjestelmän tutkiminen abduktiivisen päättelyn avulla sen muodostavien osien selvittämiseksi, ymmärtämiseksi, miten ne ovat vuorovaikutuksessa keskenään, ja saadakseen esityksen alkuperäisestä aiheesta, jolla on samat ominaisuudet. (Cross li & Chikofsky, 1990, ss. 14,15) Seuraava työnkulun kaavio Kuva 14. Suunnittelu työnkulun kaavio) näyttää sekä perinteisen suunnitteluprosessin että käänteisen suunnitteluprosessin.

Kuva 14. Suunnittelu työnkulun kaavio (Cross li & Chikofsky, 1990, s. 14)

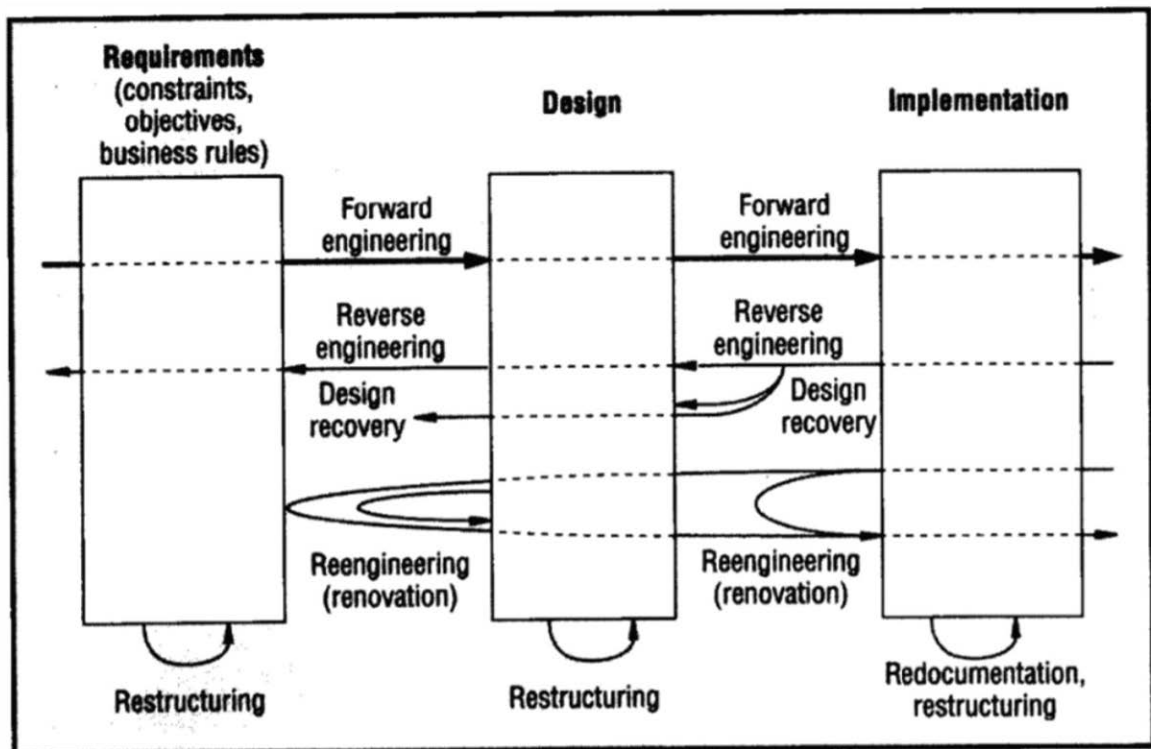


Figure 1. Relationship between terms. Reverse engineering and related processes are transformations between or within abstraction levels, represented here in terms of life-cycle phases.

Tämä määritelmänsä käänteisestä suunnittelu tekniikasta on yleismaailmallinen ja soveltuu kaikille tekniikan aloille. Uudelleen suunnittelu ja käänteinen suunnittelu sekoitetaan usein keskenään. Kirjoittajat hajottavat molempien prosessien kaikki vaiheet ja auttavat meitä erottamaan ne uudelleensuunnittelusta ja niiden aliprosesseista.

Näin, jos tuote on uudelleen suunniteltu vanhasta mallin pohjasta, projekti vaatii uudet aliprosessit, jotka ovat tuotantoprosessin uudelleensuunnitteluvaihe ja dokumentointi uudelleensuunnitteluprosessin jälkeen.

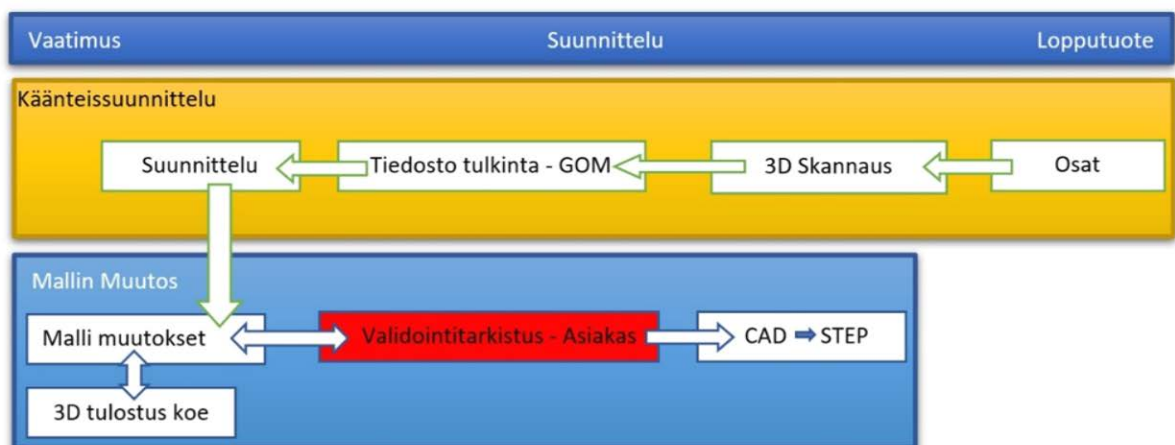
Perinteisen tekniikan tavoitteena on tuottaa tuote, joka täyttää tietyt tarpeet, kun taas käänteissuunnittelu pyrkii suunnittelemaan tai toistamaan sen saavuttaen samat parametrit kuin alkuperäinen tai ylittämällä ne. Käänteinen suunnittelu hyödyntää olemassa olevia malleja ja poimii kaikki tarvittavat tiedot alkuperäisen replikoimaksi. Tämä vähentää aikaa ja resursseja uudelleensuunnitteluprosessissa.

Maailmanlaajuisesti tämän menetelmän käyttöönotto on aiheuttanut teollisuuden kiihtyvyyttä ja vähentänyt mallien elinkaarta alkuperäisten mallien nopean optimoinnin ansiosta. Selkeä esimerkki on ollut analogisen valokuvan korvaaminen digitaalisella. (Wang, 2011, s.6)

Tämä suunnittelu- ja käänteismuunnosprojekti alkaa fyysisten elementtien digitalisoinnista. Tämä prosessi koostuu seuraavista: tiedonkeruu (skannaus), pistepilvien polygonisaatio, verkkomalli tarkentaminen ja mallien regenerointi. Tietokoneistettua digitointijärjestelmää tarvitaan kunkin osan monimutkaisten geometrioiden digitointiin. (Wang, 2011, ss. 26, 28)

Seuraava (Kuva 15) on tässä käänteinen suunnittelu projektissa suoritettu työnkulun kaavio. Tämä kaavio selittää käänteisen suunnitteluprosessin, joka suoritetaan jokaiselle kappaleelle sen saapumisesta laboratorioihin aina digitaalisten mallien validointiin asiakkaan toimesta ja niiden myöhempään toimitukseen sovitussa muodossa.

Kuva 15. Projektityön vuokaavio



Osat: Jokainen kappale tutkitaan sen ymmärtämiseksi, miten se toimii. Siten on tarkoitus saada paras tarkkuus kunkin kappaleen tärkeimmistä osista skannauksen aikana.

3D Skannaus: Tämä vaihe sisältää kaiken valmistelusta ATO-tiedostojen hankkimiseen kullekin kappaleelle.

Tiedostotulkinta - GOM: ATOS-tiedostot käsitellään kunkin osan kolmiulotteisen verkon saamiseksi. Seuraavaksi tästä verkosta saadaan kunkin kappaleen ääriviivat ja mitat sovittu koordinaattiakseliin nähden.

Suunnittelu: Edellisessä vaiheessa saadut mittaukset ja muodot siirretään digitoituun 3D-malliin.

Malli muutokset: Edellisessä vaiheessa saatua mallia muokataan uuden mallin saamiseksi. Tämä uusi muotoilu ottaa huomioon asiakkaan vaatimukset.

Validointitarkistus – Asiakas: Tässä vaiheessa asiakas hyväksyy suunnitelman tai ehdottaa muutoksia uuden suunnittelun parantamiseksi.

3D Tulostuskoe: Jos on tarvittaessa, uuden suunnittelun oikea sopivuus varmistetaan komponentin 3D-tulostuksella. Suunnittelua muutetaan testin tuloksen mukaan.

CAD:sta STEP:een: Asiakkaan hyväksymät mallit muunnetaan pyydettyyn tiedoston muotoon myöhempää tuotantoa varten.

Kun digitaalinen muotoilu on saatu samoilla ominaisuuksilla kuin alkuperäinen, digitaalisen kaksosen muodostamisen perusta on saavutettu.

4.1 Digitaalinen kaksosen

Digitaalinen kaksosen on digitaalinen esitys, joka on kytketty todelliseen malliin tai prosessiin. Tämän työkalun avulla voidaan ennustaa fyysisen mallin toiminta ennen todellista fyysisen mallin käyttöä. Tällä tavoin voidaan käyttää tekoälyä havaitsemaan poikkeavuuksia tai ennustamaan rikkoutumista ja nykyisten tapahtumien analyysin perusteella. Näiden simulaatioiden voidaan saada tietoa, jota fyysisestä mallista ei voida suoraan todeta.

(Grieves, 2015, ss. 1-4); (ABB Review, 2019, ss. 8,15)

Digitaaliset kaksoiset liittyvät läheisesti teollisuus 4.0:aan. Tämä konsepti pyrkii optimoimaan tuotantoprosesseja käyttämällä digitaalisia kaksoisia. Tässä neljännessä teollisessa vallankumouksessa, kuten teollisuus 4.0 tunnetaan myös, palaute fyysisen ja digitaalisen maailman välillä on jatkuvaa. Tästä syystä optimointi tarpeiden on suuri merkitys. Tietojen liiallinen tai väärä hallinta voi johtaa korkeampiin tuotantokustannuksiin. Tämä voi johtua sekä tarpeettoman tietojen käsittelyn kustannuksista että digitaalisen mallin moitteettoman toiminnan kannalta välttämättömien tietojen puuttumisesta. (Parrott & Warshaw, 2017, ss. 5-8)

Tarkemmin sanottuna tämä opinnäytetyö voi hyötyä samasta tavoitteesta kuin Teollisuus 4.0 täyttämällä digitaalisen kaksoisen edellyttämät vaatimukset.

Seuraavaksi selostetaan yksinkertaistetusti teollisuus 4.0-perusteisen tuotantojärjestelmän työvaiheet. Tässä esimerkissä kuvataan polttomoottorin ja sen digitaalisen kaksoisen vuorovaikutusta. Tämä voidaan toteuttaa hyödyntämällä kaikkia auton mittausjärjestelmiä, kuten esimerkiksi: lämpötila-antureita, kierroslukumittareita ja kaasunpaineantureita.

Ensimmäinen vaihe on tiedonkeruun: Tähän vaiheeseen tallennetaan kaikki auton antureista saadut tiedot, kuten jäähdytysnesteen lämpötilan, imu- ja pakokaasupaineen lukemat jne.

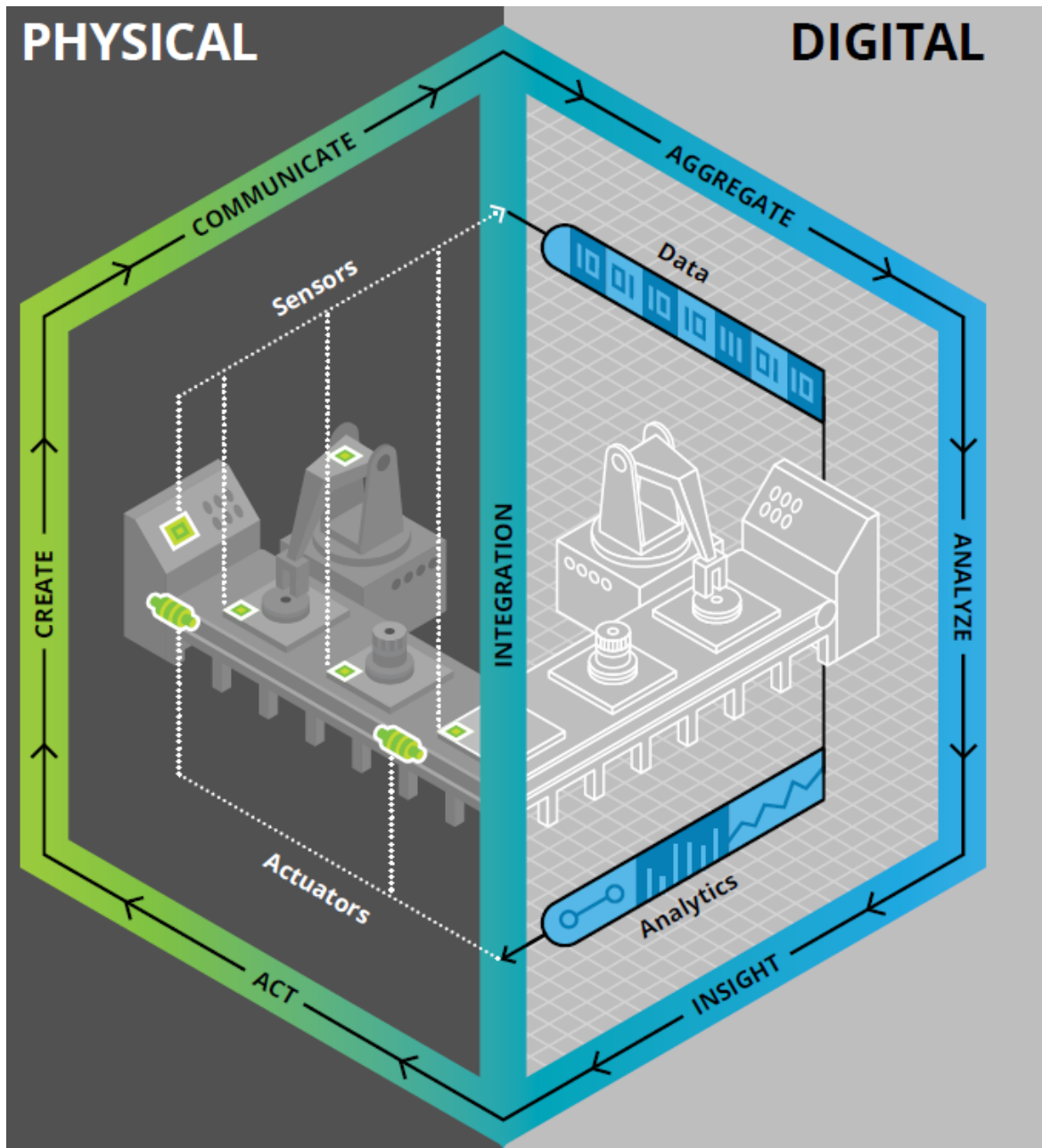
Kaikki nämä saadut tiedot liitetään digitaaliseen kaksoiseen tiedonsiirtovaiheeseen.

Integraatiovaiheessa tieto sisällytetään digitaaliseen kaksoisjärjestelmään (Tiedot toteutetaan simulointiohjelmassa). Seuraavaksi analyysivaiheessa tieto on laskettava tehokkaasti. Tässä vaiheessa suoritetaan simulaatioita, jotka etsivät ennusteita prosessi optimoinnille. Nämä prosessit voivat olla esimerkiksi: palaminen alemmassa lämpötilassa tai korkeammassa paineessa seoksessa.

Simulaatioista saatujen ennusteiden perusteella digitaalisen kaksoisen lähettää uudet toimintamääräykset ohjausyksikölle siirtovaiheessa, tällä kertaa digitaalisesta kaksosesta fyysiseen moottoriin. Syklin viimeinen vaihe on toimintavaihe. Ohjausyksikkö lähettää uudet tilaukset toimilaitteille. Tämä muuttaisi esimerkiksi sylinteriin ruiskutettavan polttoaineen määrää tai vaihtelisi seoksen räjähdyspistettä sylinterin iskussa.

Tämä sykli (tiedonkeruu, siirto, integraatio, käsittely, siirto ja toiminta) on toistettava peräkkäin, jotta järjestelmälle saadaan riittävästi tietoa arvioimaan muutosten tuloksia ja saamaan uusia ennusteita, jotka parantavat aiempia. Tällä tavalla optimointiprosessi on jatkuva. (Parrott & Warshaw, 2017, ss. 8-11). Seuraava kuva (Kuva 16) edustaa edellä kuvattuja vaiheita

Kuva 16 Valmistusprosessin digitaalinen kaksoismalli (Parrott & Warshaw, 2017, s. 5)



Kun tässä projektissa saatu digitaalinen malli sisältää nämä ominaisuudet, puhumme täydellisestä ja toimivasta digitaalisesta kaksosesta. Autokilpailujen maailmassa on jo esimerkkejä siitä, kuinka digitaaliset kaksoiset tarkoittavat menestystä, kuten Team Penske ja SIEMENS-ryhmä (Siemens, 2019, ss.1-4)

4.2 GOM Inspect – Tiedostojen tulkinta

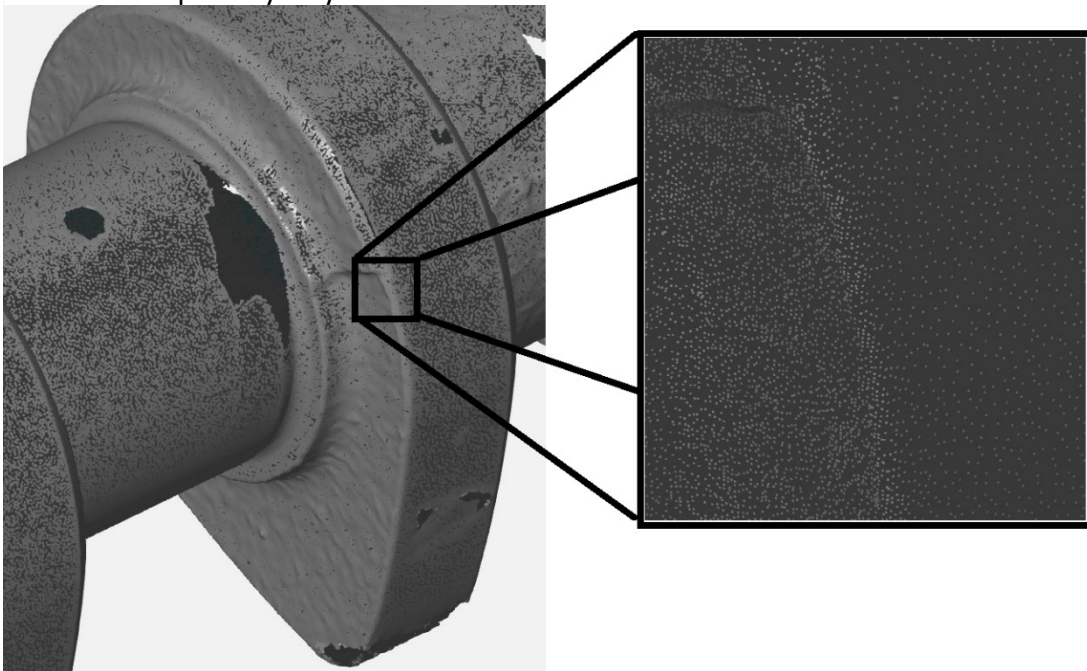
GOM Inspect tarkastusohjelmiston avulla voit analysoida yhteensopivia tietoja 3D-skannereista tai muista yhteensopivista digitaalisista mittausjärjestelmistä.

Tämän ohjelman tavoitteena on pystyä suunnittelemaan fyysisen mallin digitaalinen esitys tai vertailu alkuperäiseen CAD-malliin laadunvalvontaan ja tuotantoon tietystä pistepilvestä.

GOM Inspect työkaluvalikoima on laaja. Opinnäytetyössä kuitenkin selostetaan vain ne työkalut, joita on käytetty tämän projektin aikana.

Prosessi alkaa tiedostosta, joka sisältää kaikki digitaalisen mittausjärjestelmän saamat pisteet. Mittausjoukkoa kutsutaan pistepilveksi. Kuvassa (Kuva 17) näkyy osa nokka-akselista saadusta pistepilvestä ja yksityiskohta kaikista edustuksen muodostavista mittauspisteistä

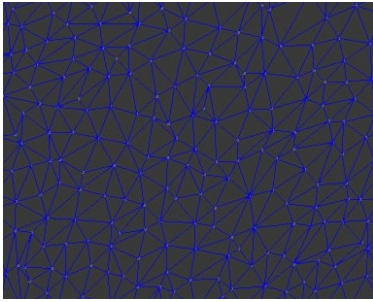
Kuva 17 Pistepilven yksityiskohdat



Ohjelmisto tulkitsee tämän pistepilven muodostamalla monikulmaisen verkon. Projektin tarpeista tai pistepilven laadusta riippuen verkko voidaan jälleenrakentaa täsmällisesti tai modifioida toleranssikertoimiin ja pintojen kaarevuuteen perustuvien algoritmien mukaisesti. Tämä monikulmainen verkko voidaan viedä eri tiedostomuodoissa, kuten STL, G3D ja ASCII. (gom-inspect.com, 2020) Seuraavaksi (osat

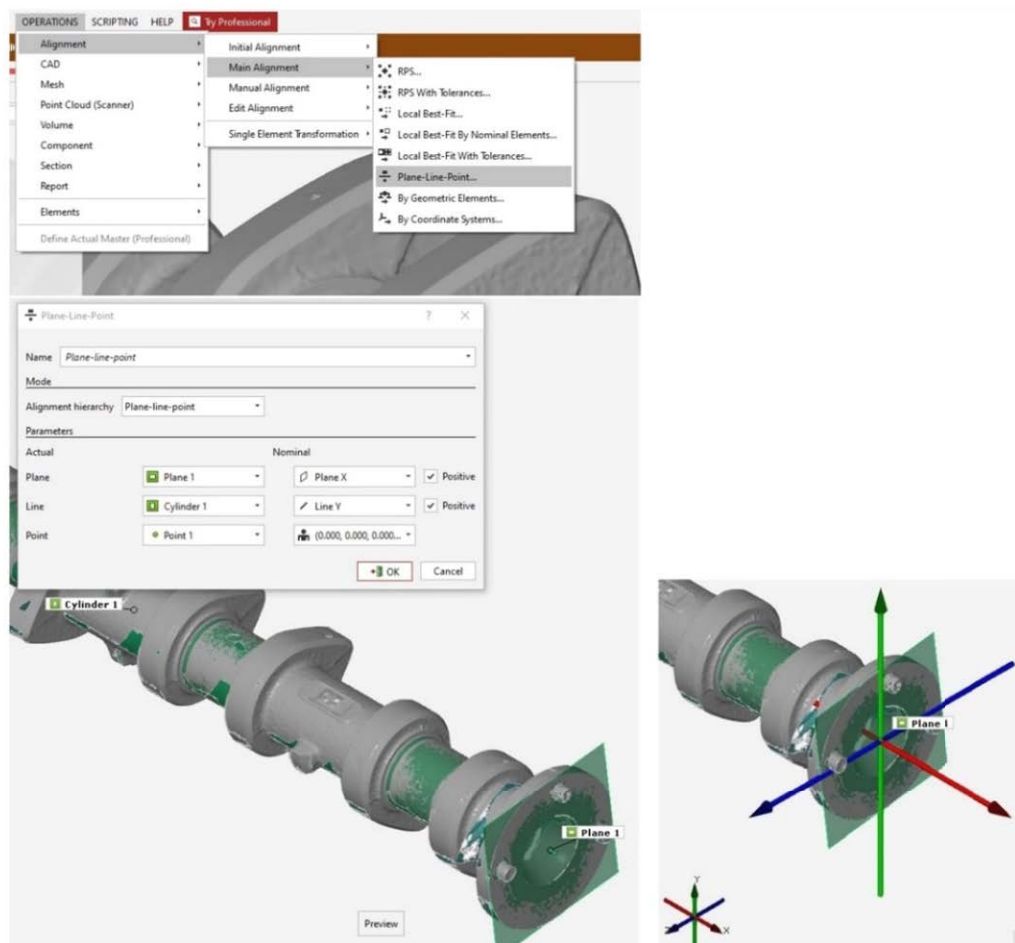
Kuva 18) näkyy yksityiskohta verkosta, joka muodostaa skannatut osat

Kuva 18 Monikulmainen verkko



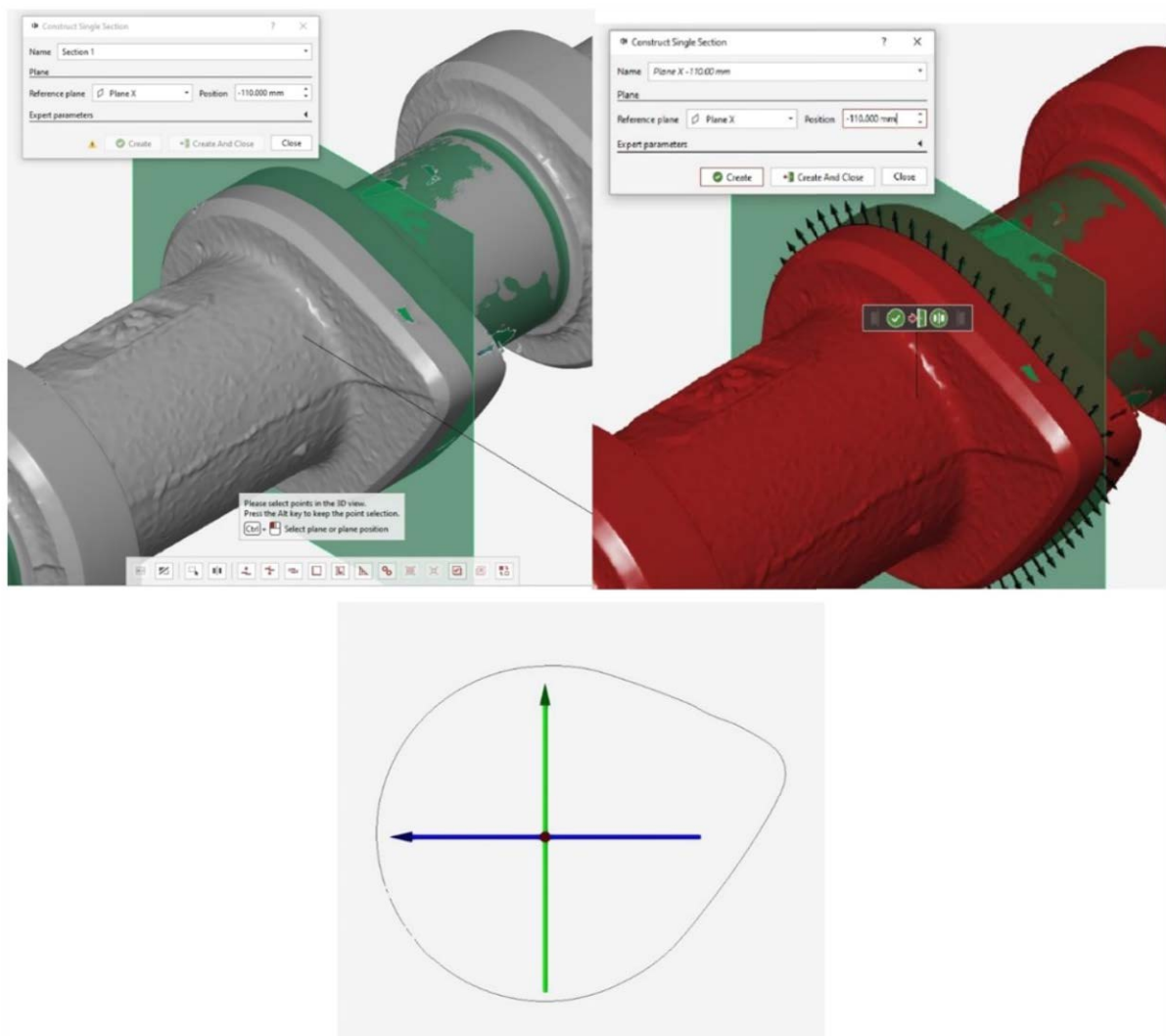
Kun toimiva perusverkko on muodostettu, suoritetaan geometrinen ja mittasuhteanalyysi. Toimenpide jatkaa verkon sovittamista koordinaatistoon. GOM Inspect sisältää vakiomenetelmät, kuten RPS (Reference Point System) tai kohdistus koordinaattijärjestelmässä. Kuvassa (Kuva 19) voidaan nähdä esimerkki linjauksesta taso-, viiva- ja pistetilassa. Taso edustaa Y-koordinaatti-akselijärjestelmässä. Viiva määritetään kampiakselin akselin keskipisteellä ja edustaa x-koordinaatti-akselia. Piste on seurausta tasossa olevan viivan leikkauspisteestä. Leikkauspiste edustaa koordinaattijärjestelmän alkuperää

Kuva 19. Kohdistus koordinaattijärjestelmässä.



Kun verkko on kohdistettu koordinaatistoon, osien ääriviiva voidaan poimia verkosta leikkaus väline avulla. Näitä tuloksena ääriviivoja, voidaan käyttää CAD-mallien luomisessa. Kannata korostaa käytännöllisyydestä, GOM Inspectin Professional-version tarjoamasta parannuksesta ilmaiseen versioon. Tämä versio mahdollistaa verkosta saatujen leikkauskäyrä tulkinnan ja niiden automaattisen muuntamisen spline-käyriksi. Spline-käyrät ovat polynomiesityksiä, jonka saadaan sektioiden ääriviivan matemaattisesta tulkinnasta. Spline-käyrät voivat nopeuttavat osien uudelleen tulkintaa CAD-suunnitteluohjelmisto. (gom-inspect.com, 2020). Kuvassa (Kuva 20) havaitaan nokan leikkauskäyrä saaminen tavanomaisella menetelmällä.

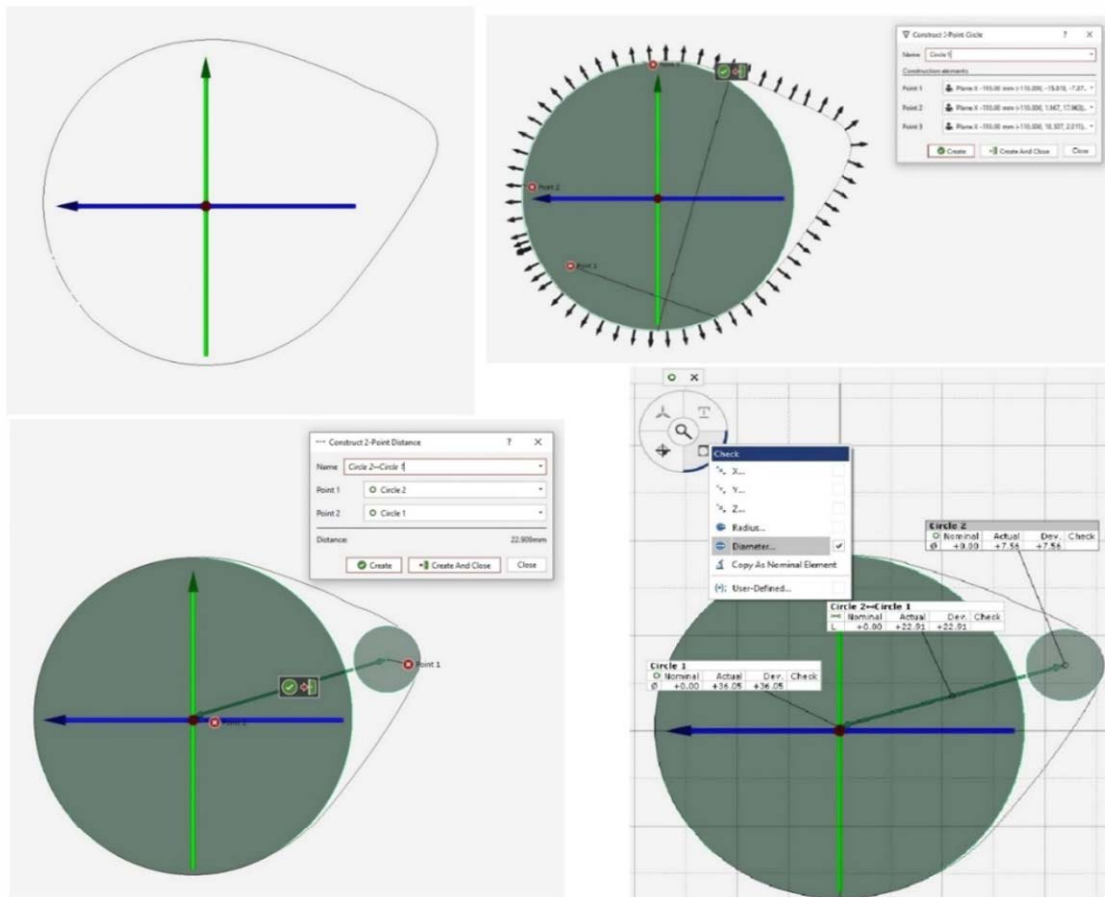
Kuva 20. Nokan leikkauskäyrä.



Tämän ohjelmiston avulla voidaan myös arvioida GD&T-elementtejä "Geometric Dimensioning and Tolerancing" sekä kahden pisteen välisessä etäisyydessä että paikallisen koordinaattijärjestelmän toleransseissa.

Toinen tässä projektissa käytetty työkalu on ollut pistepohjainen tarkastus. Tämä mahdollistaa mittausten saamisen ja standardien geometrian muodostamisen pilven sisältämistä pisteistä. (Kuva 21) näyttää nokan geometristen muotojen saamisen sen uudelleensuunnittelua varten. (gom-inspect.com, 2020)

Kuva 21. Mitat ja geometriset muodot saaminen



4.3 Autodesk Inventor – Suunnittelu ja mallin muokkaus

Tämän CAD (computer-aided design) -suunnitteluohjelman tarkoituksena on luoda, muokata, analysoida ja optimoida kolmiulotteisia malleja tietokoneen avustamana. Autodesk-yritys toi markkinoille sen vuonna 1999 täydentämällä tuotevalikoimaansa, mutta asensi suunnittelurakenteen kokonaan eri tavalla kuin AutoCAD. Tämä ohjelmisto on päivittänyt ja parantanut luettelon työkaluista, kuten mallinnus, piirustus, kokoonpano, visualisointi, simulaatiot ja topologinen optimointi yli kahden vuosikymmenen ajan. Tämä on tehnyt siitä yhden maailman laajimmin käytetyistä CAD-suunnitteluohjelmisto. (Munford & Normand, 2016 , s. 11) Tämän projektin toteuttamiseen on käytetty Autodesk Inventor Professional versiossa 2021.

Inventor suunnittelu on parametrinen. Tämä tarjoaa täydellisen suunnittelun hallinnan luonnoksesta yksityiskohtiin. Hyvin määritellystä ja parametrisoidusta 2D-luonnoksesta alkaen voimme saada muokattavan 3D-mallin. Parametrisen piirustuksen toteutus lyhentää suunnittelusta johdetut prosessit panostettua aikaa, mikä on ratkaisevaa projektien mukauttamisen ja uudelleensuunnittelun kannattavuudessa. (Munford & Normand, 2016 , ss. 27,32); (Tedeschi, 2017)

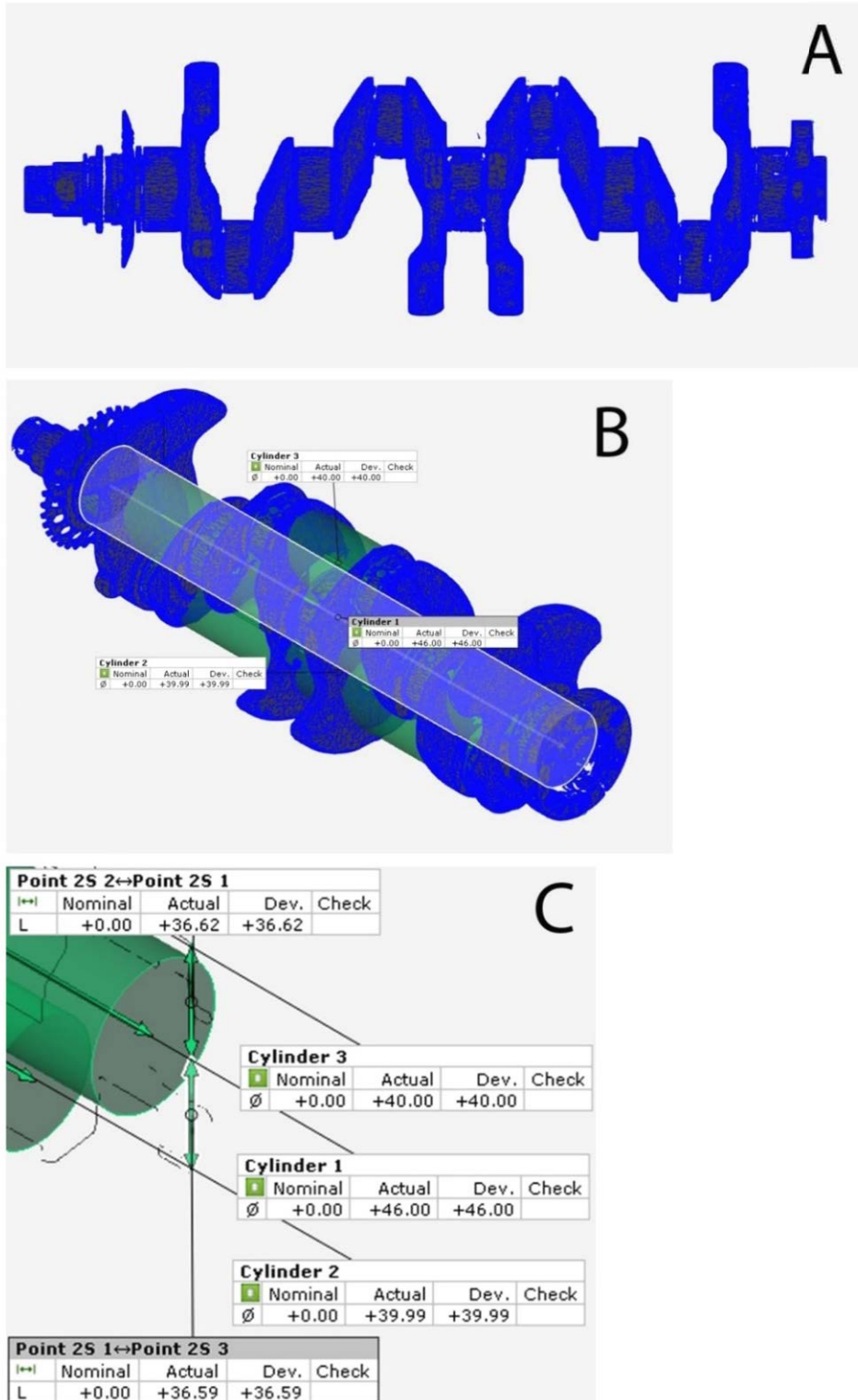
Mallien luominen alkaa yleensä 2D-mallista, jolle myöhemmin annetaan kolmas ulottuvuus esimerkiksi pursottamalla tai pyöräyttämällä jonkin akselin ympäri. Sitten materiaalia lisätään tai poistetaan uuden muodon aikaansaamiseksi. Näin on mahdollista luoda hyvin monimutkaisia malleja yksinkertaisista elementeistä.

Tämän yksinkertaistetun työmenetelmän avulla tehtiin tämän projektin mallit. Tässä projektissa kappaleiden suunnittelu on aloitettu GOM Inspectillä saaduista tiedoista. Tästä syystä suurin haaste on ollut tietojen oikea tulkinta ja siirto GOM Inspect-ohjelmasta Inventorille. Kunkin digitoidun mallin muotoja ja toiminnallisia ulottuvuuksia on haettu GOM Inspect ohjelmasta. Nämä mitat ja geometriat sisältävät mallit ovat sen jälkeen siirretty Inventoriin.

Seuravaksi on esitetty kahdessa kuvassa tämä tiedon hankkimisen ja siirtämisen prosessi (Kuva 22) näyttää toiminnallisten mittojen saamisen GOM Inspectorissa. Tämä tapaus osoittaa kampiakselin muodostavien akselien halkaisijat ja etäisyyden, joka erottaa ne. Tällä tavalla saavutetaan männän iskun pituus. (A)Kampiakselin yksinkertaistettu monikulmainen

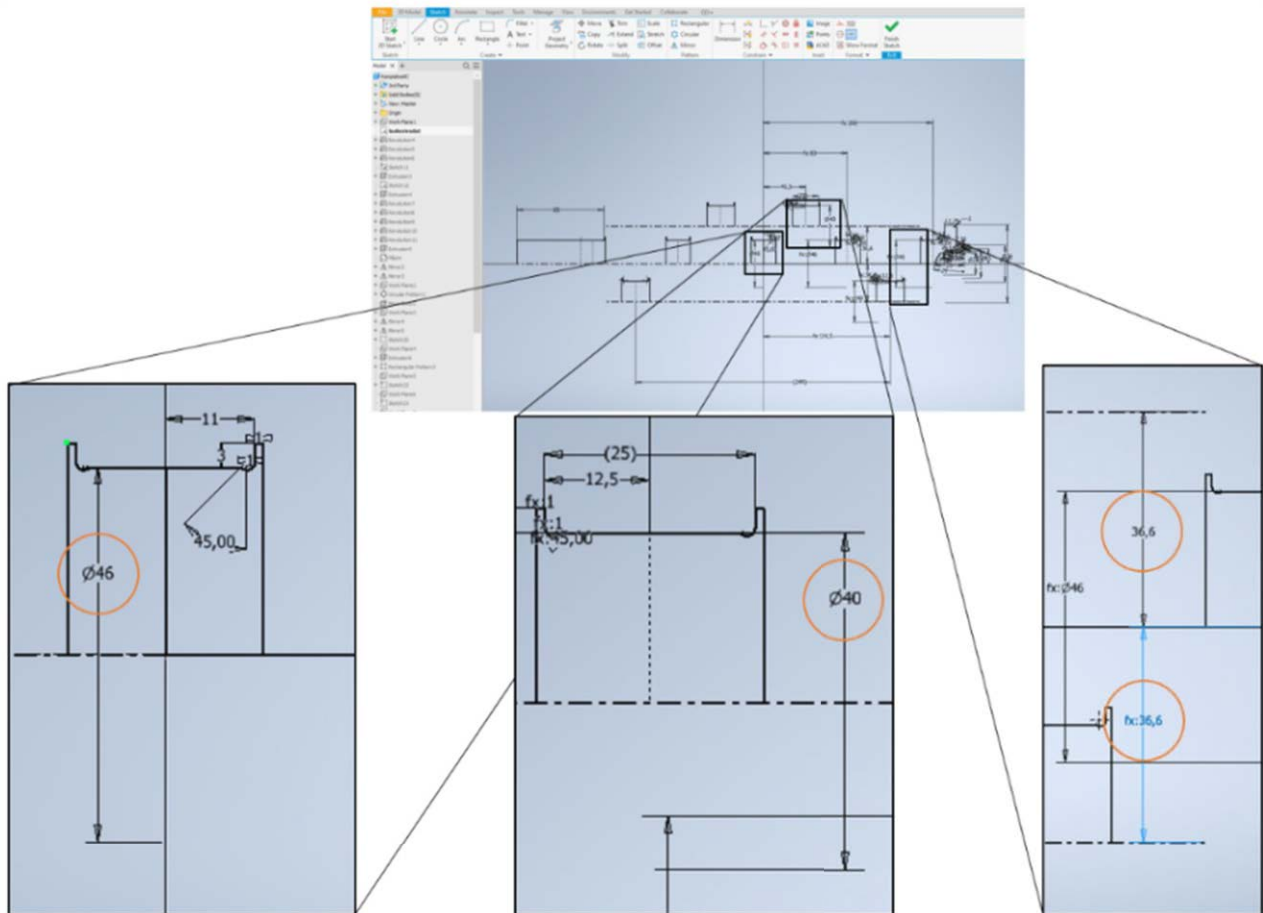
verkkomalli. (B) Kolme peruslieriötä, jotka muodostavat runkolaakerikaulan akselin ja kampaakselikaurat. (C) Halkaisijoiden mitat ja lieriöiden väliset etäisyydet.

Kuva 22. Halkaisijoiden ja etäisyyksien saaminen.



(Kuva 23) esittää määritetyn luonnoksen edellä saaduilla pyöristetyillä arvoilla. Vasemmalla puolella havaitaan runkolaakerikaulan halkaisijan yksityiskohdat. Keskiosassa näkyy halkaisija pyöristettynä 40 mm: iin GOM Inspectista saaduista arvoista. Lopuksi oikealla oleva yksityiskohta osoittaa GOM Inspectissa saatujen arvojen pyöristämisen 36,6 mm. Tämä mittaus kuvaa määritelmän mukaan puolet männän iskunpituudesta.

Kuva 23. Ulottuvuudet siirretty Inventor: iin



Kuten edellä on mainittu, prosessi on yksinkertainen. Suunnittelun tekee kuitenkin vaikeaksi oikeiden toiminnallisten mittasuhteiden löytäminen, ja niiden tulkinta. (Kuva 24) näkyy vertailu alkuperäisestä skannatusta mallista vasemmalla ja lopullisesti muokatusta mallista oikealla

Kuva 24. Vertailukuva



5 Case Peltonen

Seuraavassa osassa on kuvattu opinnäytetyön asiakkaan tarpeet, moottorin osien toiminta, suunnittelun vaiheet ja konkreettiset tulokset. Opinnäytetyön aikana on pidetty kaksi palaveria Peltonen Motorsport Oy:n kanssa. Ensimmäinen palaveri yrityksen tiloissa Hämeenlinnassa 22.9.2020, toinen palaveri järjestettiin 12.11.2020 Riihimäellä, koulun tiloissa. Tämän lisäksi asiakkaaseen on oltu yhteydessä sähköpostin ja sosiaalisen median välityksellä. Valmiit aineistot luovutettiin asiakkaalle ja asiakas hyväksyi ne joulukuun aikana 2020.

5.1 Asiakkaan tarpeet

Asiakkaan suunnitelmissa on saada moottori kestämään yli 10000 kierrosta/min. käyttöä. Vesikierto siirretään moottorin ulkopuolelle sähkökäyttöiseksi sekä nykyinen jakopään ketjuvälitys muuttuu hihnavetoiseksi. Tätä varten on tarvittu muuttaa ja mallintaa useita mittoja ja geometrioita kampiakselissa, moottorilohkossa, nokka-akseleissa ja sylinterinkannessa. Tämä projekti seuraa Peltosen ohjeita ja kappaleita on muokattu näiden kriteerien mukaan.

5.2 Osien toiminta

Jokaisella moottorin osalla on tärkeä tehtävä moottorin toiminnassa, ja muutokset yhteen osaan vaikuttavat usein myös toisiin osiin. Seuraava kappale käsittelee opinnäytetyön kohteena olevien osien toimintaa, geometriaa ja merkitystä osana moottorikokonaisuutta.

5.2.1 Kampiakseli

Kampiakselin tavoitteena on muuttaa männän edestakaiset liikkeet muunnettua hyötyvääntömomentiksi. Jokainen polttokammion työvaihe tuottaa voimakkaan ja nopean energiansiirron kampiakseliin kohdistamalla siihen voimat, vääntö- ja taivutusmomentit ja muita rasituksia. Tästä syystä on erittäin suositeltavaa suorittaa rakenneanalyysi, jossa otetaan huomioon vaikuttavat voimat ja suorittaa värähtelyn analyysi.

Kampiakselin pituusakseli tai runkolaakerilinja on kiinnitetty sylinteriryhmään laakereilla, jotka antavat sen pyörittä vapaasti.

Runkolaakereiden lukumäärä riippuu kuormituksesta, sekä kierrosnopeudesta, jolla moottori on suunniteltu toimimaan. Siksi mitä suurempi kuormitus ja mitä suuremmat kierrokset moottorilla toimii, sitä enemmän laakereita asennetaan runkolaakerilinjaan. Samojen kriteerien mukaan asennetaan enemmän tai vähemmän vastapainoja.

Iskunpituus on kaksinkertainen etäisyys runkolaakerilinjasta kampilaakerikaulan keskilinjaan.

Kiertokangen kaula jakautuu kampiakselilla kohti tasapainoista toimintaa jakamalla kunkin männän voimat rakenteeseen.

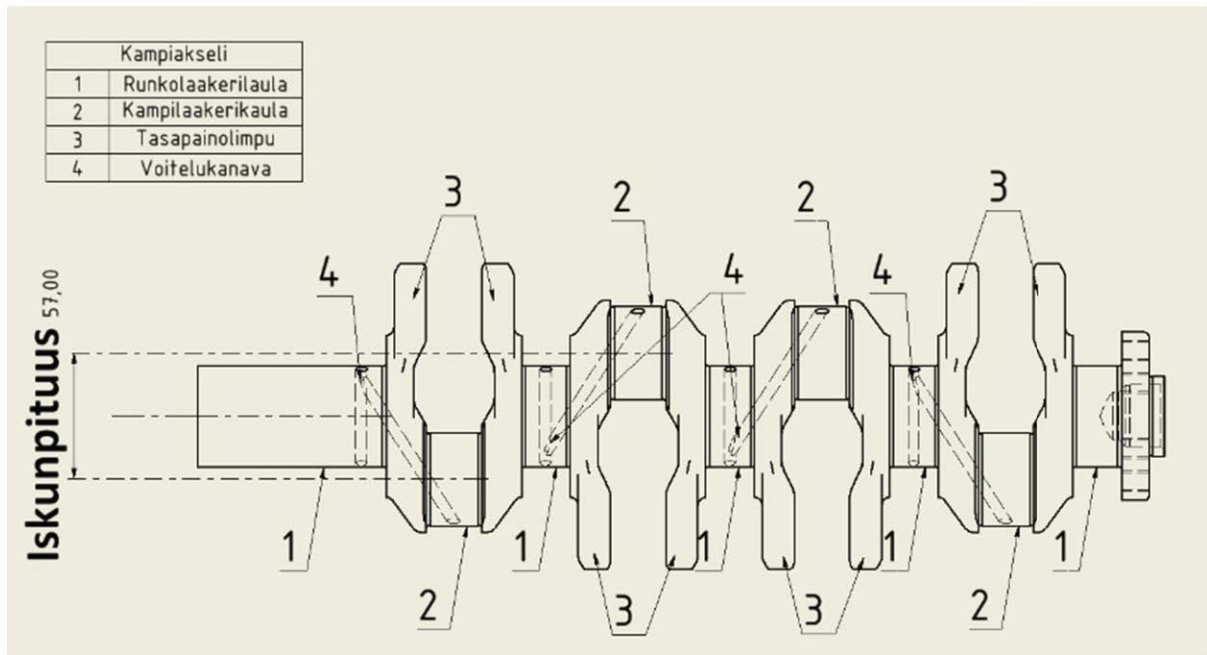
Materiaalin valinta sen valmistamiseksi sekä tuotantomenetelmä riippuu komponentin kuormitusasteesta. Yleisin tuotantomenetelmä raskaille tuotannoille moottorille on taotut teräs seokset. Kun päärunko on muodostettu, osa työstetään ja voitelukanavat porataan sekä laakerikaulat karkaistaan kosketuspintojen kovettamiseksi

Lopuksi tapahtuu kampiakselin tasapainotus poistamalla materiaalin poraamalla yleisesti tasapainosta. Kampiakselin oikea tasapainotus on välttämätöntä ennenaikaisen kulumisen ja

(osaan tai osittain) värähtelyilmiöt välttämiseksi. (Robert Bosch GmbH, 2003, ss. 447-447);
(Rantala, 2002, ss. 72-74)

Seuraava (Kuva 25) näyttää tärkeimmät osat, jotka muodostavat kampiakselin ymmärtämisen parantamiseksi.

Kuva 25 Kampiakseli komponentit



5.2.2 Sylinterilohko

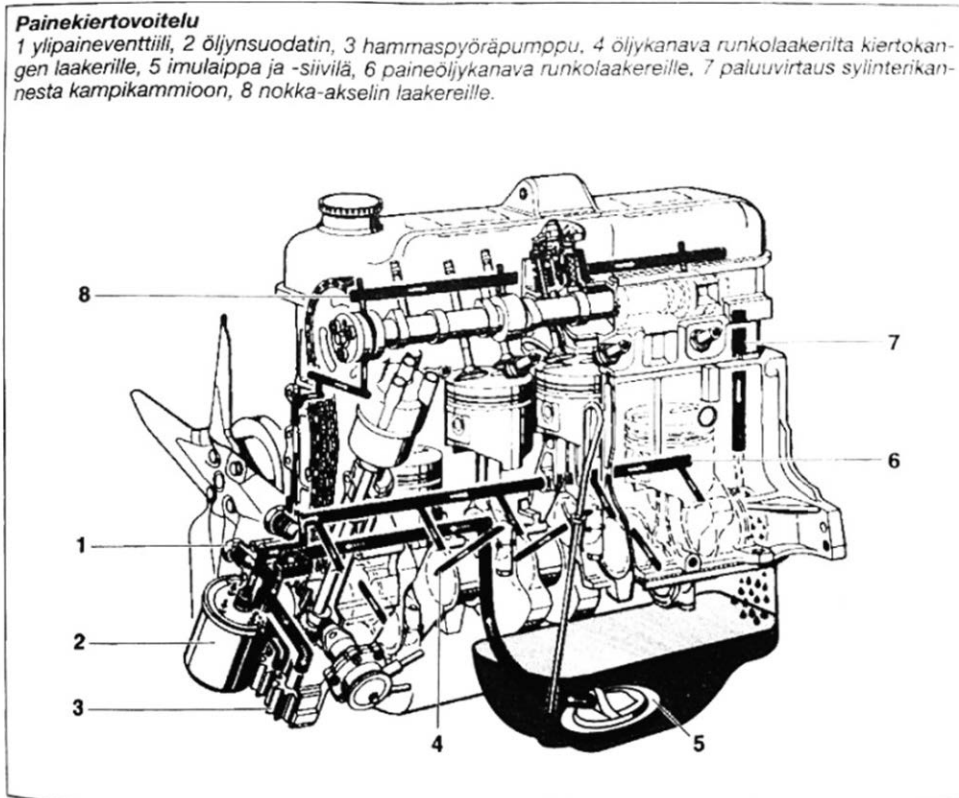
Tätä komponenttia kutsutaan myös sylinterilohkoksi. On rakenteellinen pohja, jonka ympärille muut moottorin osat kootaan. Sen muotoilu vaihtelee sen jäähdytysjärjestelmän, voitelun ja sylinterien kohdistustyyppin mukaan.

Tämän komponentin on oltava riittävän jäykkä kestämään mekanismin aiheuttamia muodonmuutoksia. Myös pitää eristää moottorin käyntiäni sekä värähtelyjä. Tästä syystä se on massiivinen elementti, jota yleensä valmistetaan valamalla kevyitä metalliseoksia tai terässeoksia.

Kun valuprosessi on valmis, koneistetaan kosketuspinnat muiden moottorielementtien kanssa esim. sylinterinkansi ylemmässä tasossa, sylinterit pinnat, kampiakselin laakeripesät. Tämän vaiheen tavoitteena on saavuttaa toleranssimäärät, joita kukin osa vaatii niiden oikeaan toimintaan, jota valuprosessi ei voi tarjota.

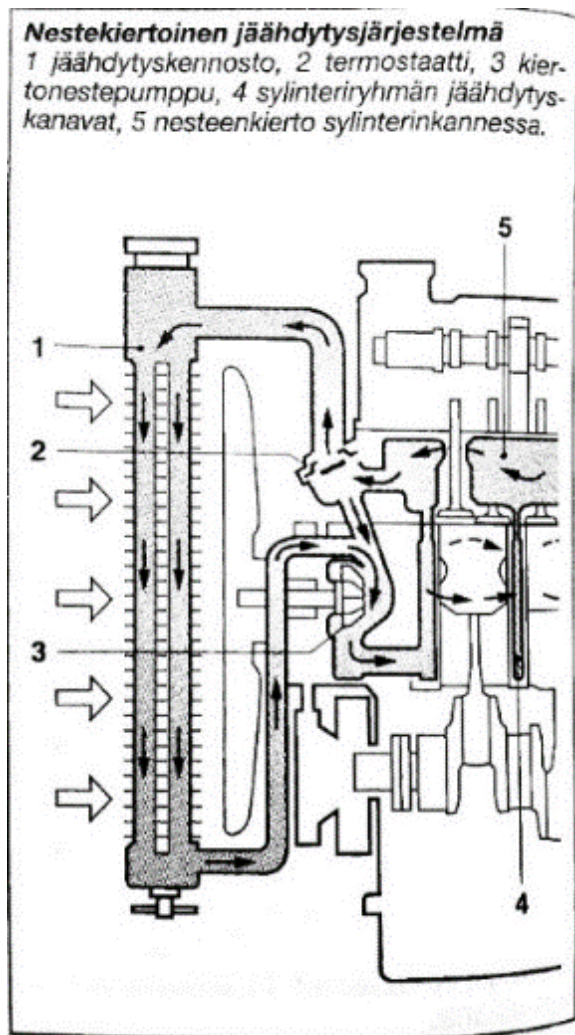
Voitelukanavat porataan lohkon. Kanavat toimittavat paineistettua öljyä lohkon sisä- ja ulkopuolisiin osiin. Voiteluaine estää kulumista, parantaa sylinterin tiiviyyttä palamisen aikana ja toimii kylmäaineena. Alla oleva (Kuva 26) on selittävä kaavio moottorilohkon sekä muista painekierto-voitelu-järjestelmän muodostavista osista.

Kuva 26 Painekierto-voitelu (Robert Bosch GmbH, 2003, s. 452)



Jos moottori on nestejäähdytteinen, sylinterit ympäröivät myös koneistettu tilat, joiden läpi jäähdytysneste kiertää sylinterikannen jäähdytyskanavaan. (Kuva 27) on esitetty polttomoottorin nestejäähdytyspiiri.

Kuva 27 Nestekiertoinen jäähdytysjärjestelmä (Robert Bosch GmbH, 2003, s. 450)



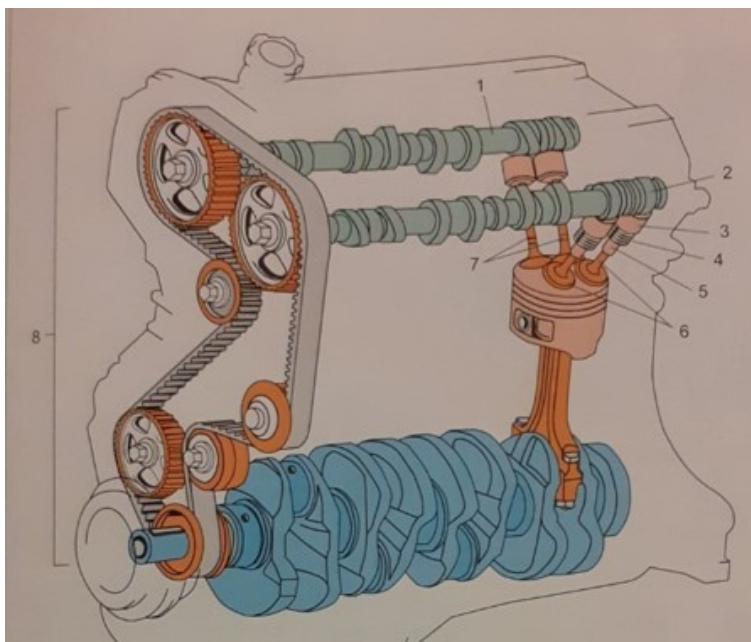
Tässä projektissa modifioitu moottori on 4 sylinteri rivimoottori, joka antaa sille tietyt tyypilliset ominaisuudet verrattuna muihin, kuten v- tai vastaisku- moottorit.

Linjasylinterimoottori on yleisimmin tuotettu alhaisen kustannuksensa vuoksi. Tämän tyypisessä moottorissa kaikki sylinterit ovat kohdakkain samassa suorassa ja pystysuorassa. Joskus sylinterit voidaan kallistaa moottorin korkeuden pienentämiseksi. (Rantala, 2002, ss. 56-57)

5.2.3 Nokka-akselit

Nokka-akseli on osa venttiilikoneistoa, jonka tehtävä on mahdollisimman tehokas kaasunvaihto sylinterissä. Nokka-akselin tehtävä on avata ja sulkea imu ja pako venttiilejä oikea aikaisesti painamalla alas venttiilikoneiston rakenteesta riippuen, kuppimaisia ohjaimia tai keinuviipuarsia. Jokaista venttiiliä kohden on yksi nokka. Alla olevassa kuvassa nokka-akselit näkyvät vihreällä.

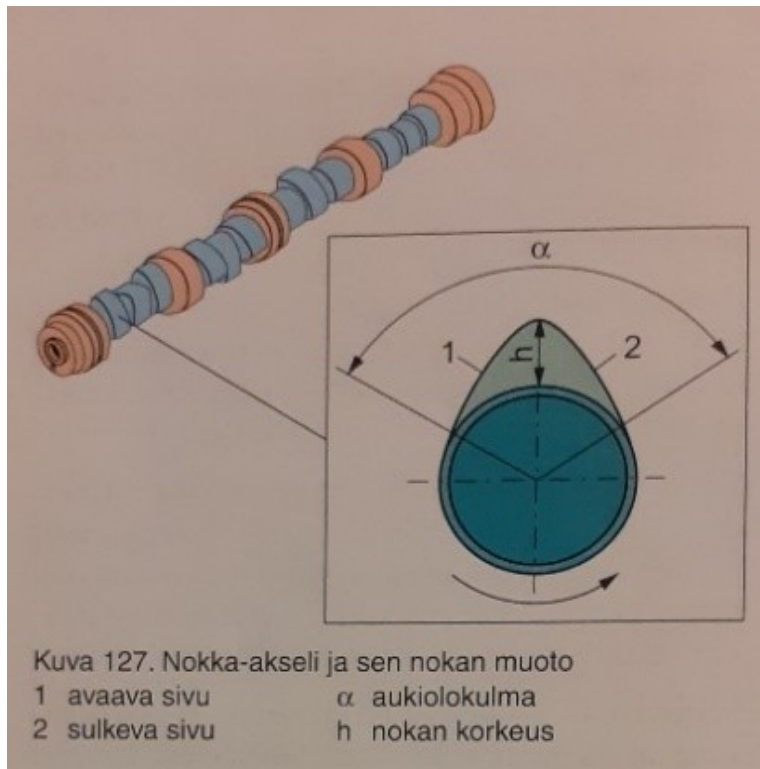
Kuva 28 Nokka-akselit osana moottoria (Rantala, 2002, s. 81)



Nokka-akselin pyörimistä ohjaa jakopää, kampiakselilta keljun tai hammashihnan välityksellä (Rantala, 2002, ss. 81- 87).

Nokka-akselin nokkaprofiili vaikuttaa suoraan seuraajan nopeuteen ja kiihtyvyyteen. Uuden nokkaprofiilin suunnitteluvaiheessa huomataan myös, että profiililla voidaan vaikuttaa hyvin paljon sylinteritäytökseen ja kaasunvaihtotapahtumaan (Kuva 29) (Robert Bosch GmbH, 2003, ss. 425- 426).

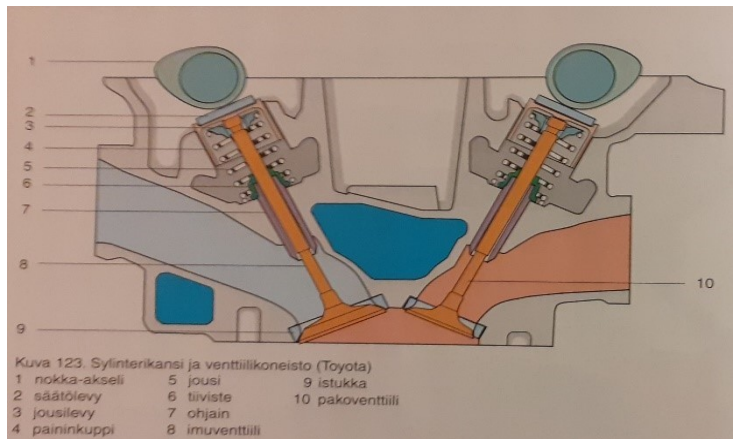
Kuva 29 Nokka-akselin poikkileikkaus (Rantala, 2002, s. 84)



5.2.4 Sylinterikansi

Sylinterikansi sulkee sylinterit ja muodostaa näin yhdessä sylinteriryhmän kaasunvaihtotilan. Sylinterikansi sisältää venttiilikoneiston, kiinnityksen sytytystulpille ja nokka-akseleille sekä siihen kiinnittyy imu- ja pakosarjat. Sylinterikannessa on kanavat nokka-akselien voiteluun ja sylinterin vesijäähdytystä varten. Sylinterikansi valmistetaan yleensä valamalla, joka mahdollistaa vaativien muotojen toteuttamisen yhteen kappaleeseen joko raudasta tai paremman lämmönjohtavuuden ja keveyden takia jostakin kevytmetalliseoksesta (Rantala, 2002, ss. 55- 56). Sylinterikannen muoto riippuu venttiilikoneiston rakenteesta. Yleisin nykyisissä autoissa käytettävä venttiilikoneisto on mallinimeltään DOCH.

Kuva 30 Venttiilikoneiston poikkileikkaus (Rantala, 2002, s. 82)



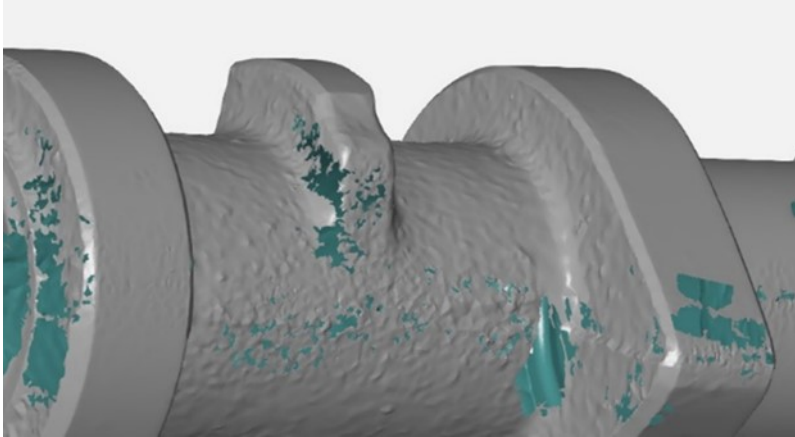
DOCH-lyhenne tulee englanninkielisistä sanoista double overhead camshaft. DOCH-sylinterikansi tarkoittaa rakennetta, jossa venttiilikoneisto koostuu kahdesta sylinterikannen yläpuolisesta nokka-akselista ja nostin- tai rullakeinuohjatuista venttiileistä. DOCH-rakenne mahdollistaa imu- ja pakosarjojen sijoittamisen sylinterikannenvastakkaisille puolille, jolloin imuilman epäedullista lämpenemistä pakosarjan vaikutuksesta voidaan vähentää. Tämä on erittäin hyödyllistä varsinkin kilpakäytössä. Kahden erillisen nokka-akselin käyttö mahdollistaa myös imu- tai pakupuolen venttiiliajoituksen muuttamisen erikseen (Robert Bosch GmbH, 2003, ss. 447- 449).

5.3 Nokka-akselien muutostyö

Seuraavassa on kuvattu nokka-akseleihin tehdyt muutokset ja suunnittelun vaiheet. Vanhat nokka-akselit on tarkoitus korvata uusilla sorvatuilla osilla ja niiden tulee sopia yhteen olemassa olevan sylinterikannen kanssa. Tästä syystä laakeripintojen mitoitukset sekä varsinaisten nokkien etäisyyksien tarkka mitoitukset oli kriittinen. Fyysiset mallit olivat valmistettu valamalla ja laakeri ja nokkien liukupinnat koneistettu ja karkaistu. Valumuotin aiheuttamat epämuodostumat akselin pinnalla sekä ylimääräiset olakkeet poistettiin uusien nokka-akselien suunniteltaessa. Nokka-alueen geometriaa ei tässä vaiheessa muutettu, vaan pyrittiin löytämään mahdollisimman tarkka arvo geometrioista paikasta, jossa näkyvää kulumista mahdollisimman vähän. Alla oleva kuva on otettu skannauksen jälkeen käsittelemättömästä ATOS pistepilvitiedostosta, GOM Inspect -ohjelmasta. Siitä näkee selvästi valumuotin aiheuttaman epätasaisuuden ja nokka-alueen kulumisen, joka hankaloitti

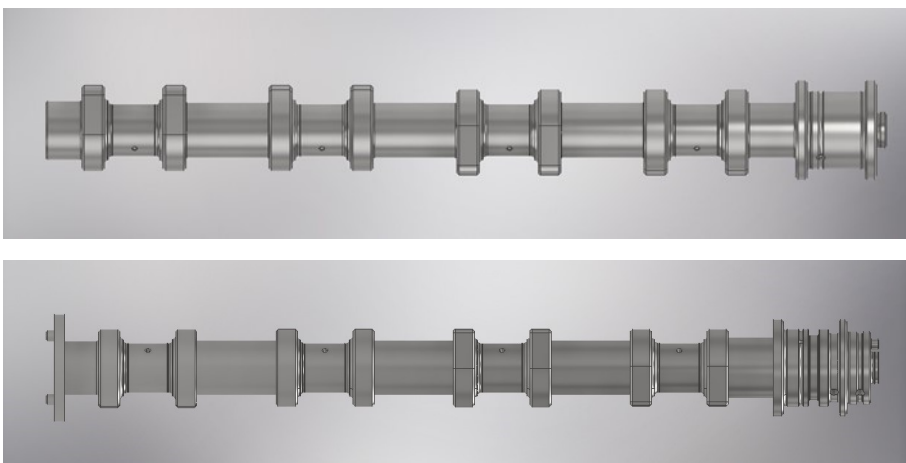
validin mitan saamista. Lisäksi keskellä näkyy yksi poistettavista metalliolakkeista. Kuvassa turkoosilla näkyvät alueet ovat 3D -skannerin pois jättämiä alueita.

Kuva 31 Kuvakaappaus nokka-akselin pinnasta.



GOM Inspect ohjelmalla nokka-akseleista saatujen mittojen perusteella on luotu Autodesk Inventor -ohjelmalla digitaalinen malli halutuin muutoksin. Ensimmäisessä versiossa v1, mitoitukset olivat vielä karkeita ja viisteitä ja pyöristyksiä ei ollut lisätty kuvaan. Asiakkaan kanssa 12.11.2020 pidetyssä palaverissa käytyjen keskustelujen pohjalta mitoituksen tarkkuus ja halutut geometriat täsmentyivät ja lopullisessa versiossa v2. kaikki mitoitukset ja muodot on saatu asiakkaan vaatimusten mukaisiksi. Kuvassa imupuoli ylhäällä ja pakopuoli alla.

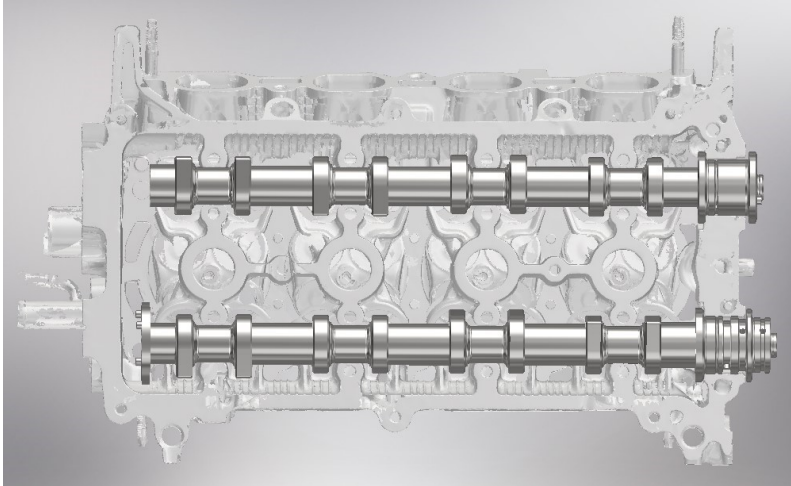
Kuva 32 Nokka-akselien valmiit v2 kuvat.



Nokka-akselien sopivuus alkuperäiseen osaan on suoritettu Inventor -ohjelman avulla, jossa nokka-akseleiden geometrioita on verrattu skannatusta sylinterikannesta otettuun. .stl -tiedostoon. Alla olevassa kuvassa näkyy kuvakaappaus Inventor -ohjelman kokoonpanosta.

Jossa pystytään vertaamaan nokka-akseleihin tehtäviä muutoksia niiden päivittyessä kokoonpanoon automaattisesti ja todentaa sopivuus alkuperäiseen sylinterikanteen.

Kuva 33 Kuvakaappaus kokoonpanosta.



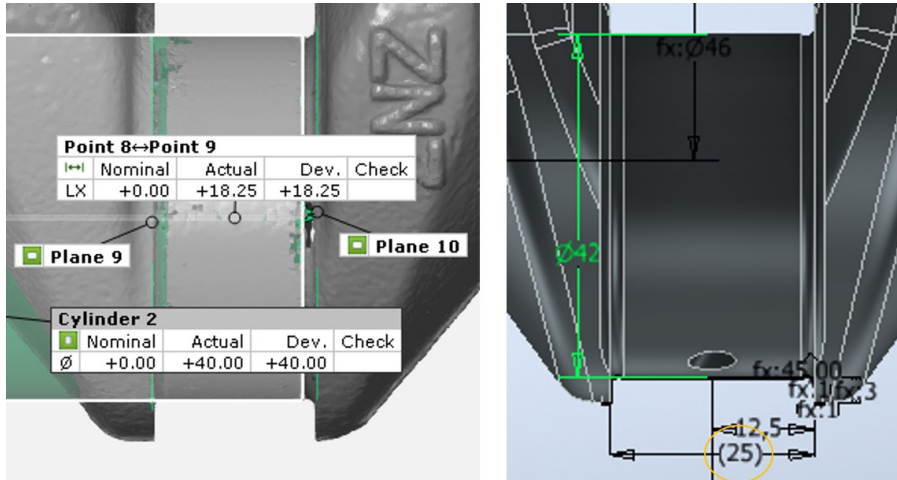
5.4 Kampiakseli muutokset

Seuraavassa kuvataan kaikki uudistetut mallimuutokset sekä uudesta suunnittelusta johtuvat sopeuttamiset. Modifioitu moottori varustetaan erikokoisilla kiertokangilla kuin alkuperäisen. Uusien kiertokanki alapään reiäksi halkaisija on 42 mm ja laakerille tarkoitettu leveys on 25 mm. Lisäksi uusi moottori varustetaan sähköisellä jäähdytysnesteellä sekä öljypumpuilla. Tästä syystä kampiakseli muutetaan seuraavin ehdoin.

Kampilaakerikaulan halkaisijan ja leveyden kasvu: Kampilaakerikaulan halkaisija on kasvanut 40 mm:stä 42 mm:iin ja laakeriin tarkoitettu leveys on muokattu 18,25 mm:stä 25

mm:iin, johon sopiva sovite koneistetaan. Seuraavassa (Kuva 34) esitä vasemmalla kampiakselin alkuperäinen mitat vastakkain oikealla olevan uusia mittoja.

Kuva 34 Kampilaakerikaulan halkaisijan ja leveyden

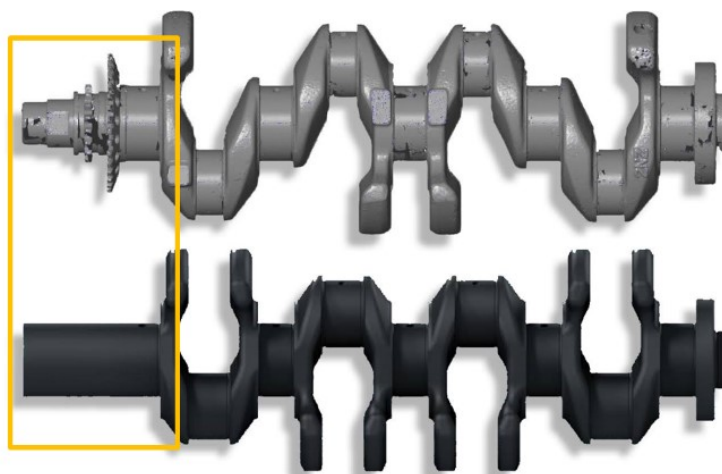


Keskikampilaakerikaulan ja keskirunkolaakerikaulan etäisyys: Akselit, keski- ja kiertokanki lähestyvät toisiaan 8 mm, jolloin männän isku pienene 73 mm:stä 57 mm:iin.

Kampiakselin päässä olevien kierteiden työstön ja hammaspyörien poistaminen:

Muunnetun moottorin ei tarvitse siirtää tehoa pumppuihin. Tästä syystä sitä on pyydetty poistamaan kaikki lisävarusteet ja jatkamaan viimeistä keskiakseli laakerikaulaa akselin loppuun asti kuvan osoittamalla tavalla (Kuva 35)

Kuva 35 Kampiakselin pää muutos

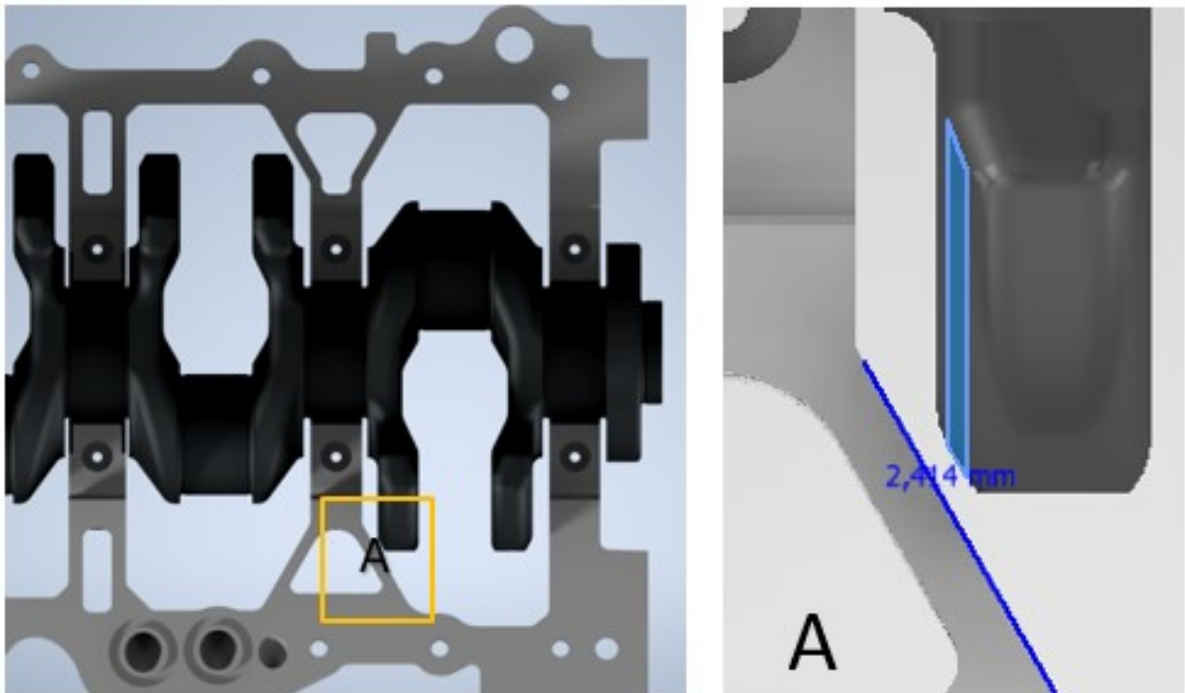


Vastapainojen lukumäärä: Vastapainojen lukumäärä on kaksinkertaistettu tekemällä jokainen kampivarsi vastapainoksi. Jokaisella männällä on siis kaksi vastapainoa.

Uuden mallin mukanaan tuomat muutokset. Asiakkaan pyytämät muutokset herättävät tarpeen muuttaa alkuperäisen suunnittelun muitakin näkökohtia. Tämä johtuu uuden suunnittelu yhteensopimattomuudesta muiden komponenttien kanssa. Uudesta mallista johtuvat muutokset ovat seuraavat.

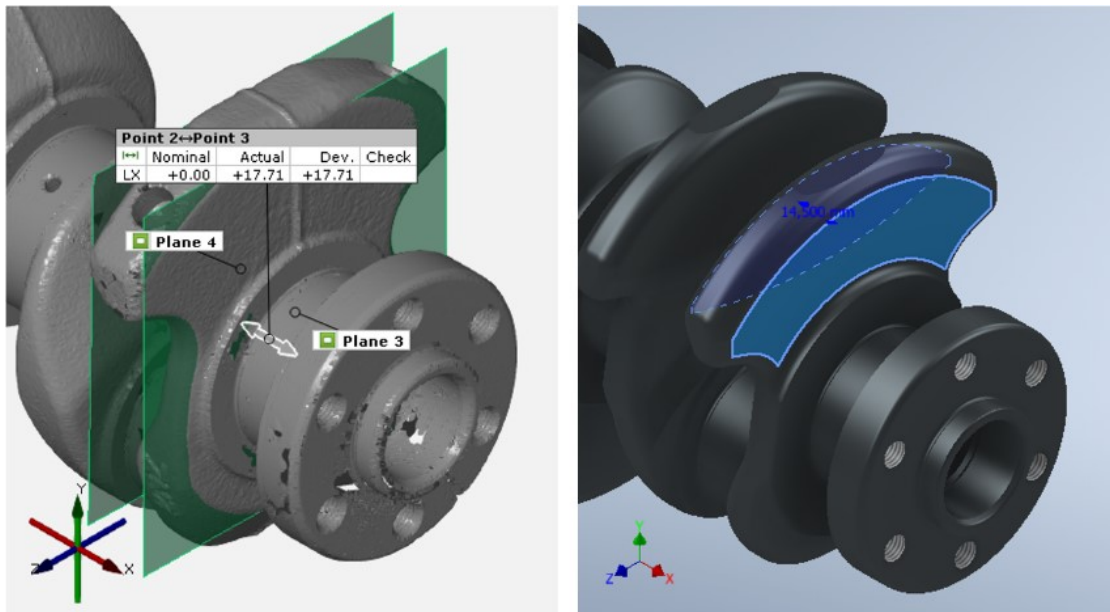
1.Vastapainon viistäminen: Vastapainojen liittäminen epätasapainoisiin kiertotankoihin johti sylinterilohkon ja uusien vastapainojen törmäykseen. Kuten (Kuva 36) suurennettu kuva (A) näkyy jäähdytyskanavan seinä. Tämä kolmion muoto tulee tilaan, joka on tarkoitettu uuden vastapainon pyörimiseen. Alkuperäisen vastapainon yksinkertainen peilikopiointi ei ollut mahdollista, koska sitä pyöritettäessä törmättiin mainitun kanava seinämään. Tämän yhteensopimattomuuden ratkaisemiseksi vastapainon reunaviiste on lisätty.

Kuva 36 Vastapainot viistämien



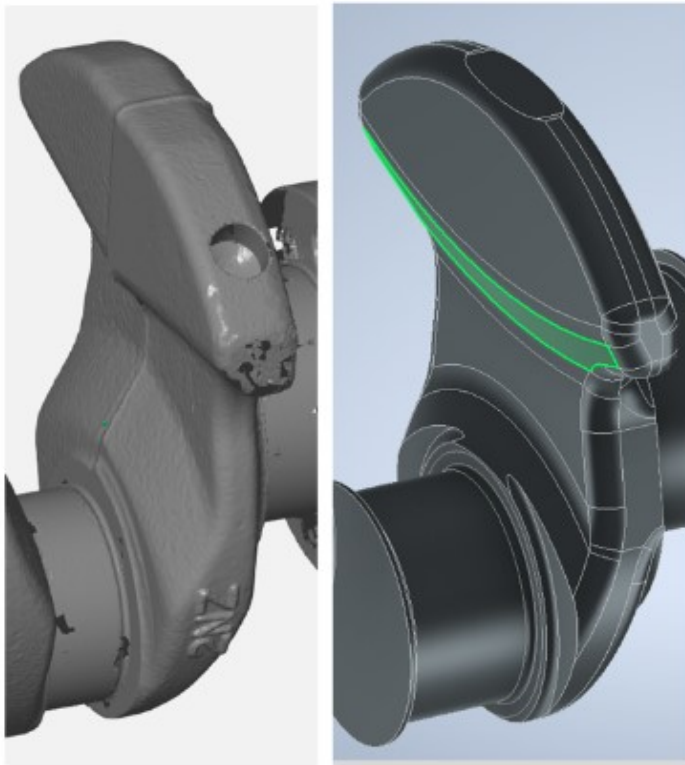
2.Vastapainon paksuuden vähentäminen: Pyydetty kiertokangen laakerin leveyden lisäys vähentää kampiakselin kiertokangelle varattua tilaa. Tämä pienentää vastapainojen paksuutta noin 17,7 mm:stä alkuperäisessä mallissa 14,5 mm:iin muokatussa mallissa. Tämä paksuuden pieneneminen näkyy (Kuva 37):ssä vasemmalle alkuperäinen malli näyttää likimääräisen takomuotti helpotus -mittauksen ja oikealle näyttää vastapainon paksuuden uudessa mallissa.

Kuva 37 Vastapainon paksuuden vähentäminen



3.Uuden valmistusprosessin sopeuttaminen: Alkuperäinen osa on suunniteltu valmistettavaksi käyttämällä taontaprosessia. Tämä tarkoittaa, että vastapainot on suunniteltu helpotuksella helpottamaan takomuotin poistamista. Uudessa versiossa vastapainot on suunniteltu helpottamaan koneistusta. Kuten näkyy (Kuva 38) vasemmalla, vastapainot koostuvat symmetrisistä osista, jotka yhdistyvät muodostamaan kaksi tasoa, joiden välillä on tietty kallistuma. Tämä muoto on takomuotin tuote. Oikealle nähdään uusi tasapaino muoto, jossa seinät koostuvat yhdestä tasosta, joka yksinkertaistaa koneistusta.

Kuva 38 Valmistusmenetelmä vertailu



4.Voitelukanavat: Kun keskikampilaakerikaulan tuodaan lähemmäksi keskirunkolaakerikaulan, öljykanava kallistuu 3° XY-tasossa ja $0,5^\circ$ ZY-tasossa.

Yhteenvetona taulukko (Taulukko 1) näyttää kampiakseliin tehdyt muutokset.

Taulukko 1 yhteenveto muutoksista

		Alkuperäinen	Muutettu
Kampilaakerikaulan hakasia.	a	40 mm Ø	42 mm Ø
Kampilaakerikaulan leveys.	b	18 mm	25 mm
Keskikampilaakerikaulan ja keskirunkolaakerikaulan etäisyys	c	36.5 mm	28.5 mm
Vastapaino määrä	d	4	8
Kampiakselin hihnapyörän pää	e	Koneistettu	Ei koneistettu
Suunnittelu sivuvaikutus			
Kampilaakerikaulan voitelukanavan kulma	f	30° taso XY 13.5° taso ZY	33° taso XY 14° taso ZY
Vastapaino viisto	g	Ei	Kyllä
Suunnittelu valmistusmenetelmän mukaan	h	Taonta + koneistus	Koneistus
Iskun pituus	i	73 mm	57 mm

Vastapainojen uudessa mallissa on tehty lukuisia muutoksia. Osa kampiakselin osista on tulostettu muoviin, jotta varmistetaan sylinterilohkon uusien vastapainojen oikea säätö. Kuten (Kuva 39) näkyy, on muovista tulostettu kaksi vastapainoa, jotka vastaavat samaa mäntää. Tällä tavalla on varmistettu, että uusi vastapainorakenne ei törmää muihin komponentteihin.

Kuva 39 Vastapainon sovitinkappale



5.5 Sylinterilohkon mittavaatimukset

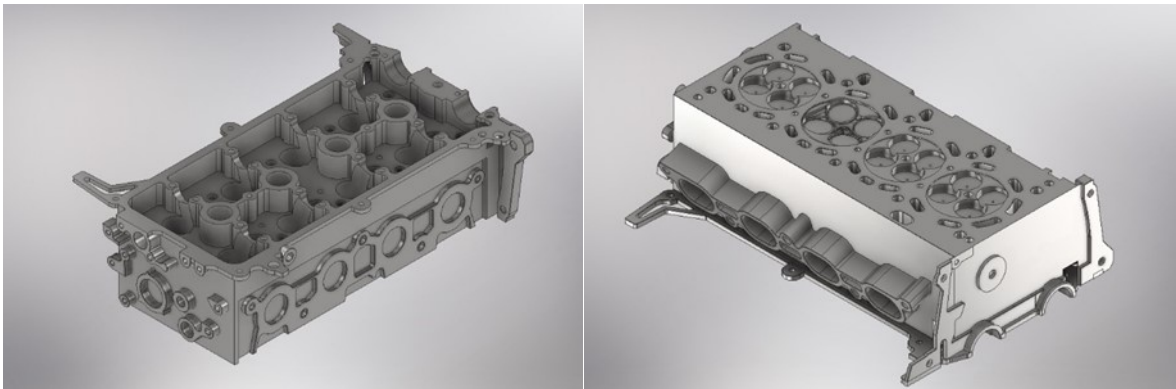
Tätä komponenttia ei muuteta tässä projektissa. Asiakas vaatii kuitenkin tarkkoja mittauksia neljästä sen tasopinnasta (vesipumppu, kytkin, sylinterikansi ja öljypohja). Jokaisen näistä kosketuspintoista on tehtävä tarkka mittaus, koska muokatut komponentit kootaan näille pinnoille. Koska sylinterilohkon kokonaista mallintamista ei vaadittu, mallinnusta on yksinkertaistettu tekemällä yksilölliset suunnitelmat vain pinnoista.

Näiden pintojen mittausten tarkoituksena on antaa kaikkien ankkuripisteiden, putkien ja muotojen sijainti sekä syvyydet, joilla ne sijaitsevat.

5.6 Sylinterikannen muutostyö

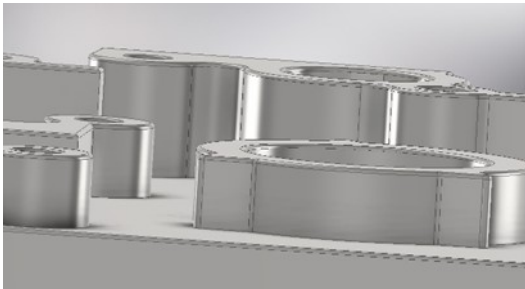
Sylinterikannen osalta opinnäytetyössä on luotu fyysisestä mallista digitaalinen malli, jossa erityistä huomiota on kiinnitetty eri projektioiden sisältämien geometrioiden mahdollisimman tarkkaan mallinnukseen. Kuvassa alla lopullinen asiakkaan hyväksymä versio 1.3 sylinterikannesta.

Kuva 40 Lopullinen versio 1.3 sylinterikannesta.



Ensimmäinen versio 1.1 oli keskeneräinen, kun 12.11.2021 asiakkaan kanssa käydyn palaverin jälkeen asiakkaan kannalta tärkeät muodot ja tarkennukset mitoitukseen huomioiden asiakkaalle luotiin versio 1.2. Sylinterikansi mallinnettiin yhtenä kappaleena, jotta eri projektiossa olevat tasoerot on saatu osan jatkokehitystä varten selkeästi esille.

Kuva 41 Sylinterikannen pinnan korkeuseroja



Lisäksi asiakkaan pyynnöstä 14.12.2021 varsinaisia sylinterikammion geometrioita on tarkennettu ja venttiilien päät on lisätty lopulliseen versioon 1.3 asiakkaan pyynnöstä, heidän jatkosuunnittelutarpeitansa varten.

Kuva 42 Valokuva fyysisestä mallista ja kuvakaappaus versio 1.3 Inventor -ohjelmasta.



6 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa asiakkaalle digitaaliset mallit halutuun muotoon fyysisistä malleista ja tutkia työn eri vaiheissa käytettyjä menetelmiä, teorioita ja käytäntöjä.

Uusien menetelmien ja laitteiden oppimisessa 3D -skannerin käytön opettelu ja saadun kuvan tulkintaan ja käsittelyyn tarkoitettuna GOM Inspect -ohjelman käyttö olivat onnistumisen kannalta välttämättömiä.

Opittu teoria antoi hyvät edellytykset ja rungon opinnäytetyön tekoon ja teoriaa hyödynnettiin työn eri vaiheissa onnistuneesti.

Käytännön työ antoi hyvät edellytykset laitteiston sekä ohjelmistojen käyttöön ja kasvattivat osaamista mahdollista tulevaa käyttöä varten.

Kestävän kehityksen näkökulmasta opinnäytetyössä, käännteissuunnittelun ja digitalisoinnin avulla tuotteen elinkaarta on pidennetty ja suunnittelun kuormitusta laskettua

Opinnäytetyö onnistui erittäin hyvin ja asiakas oli erittäin tyytyväinen lopputuloksiin.

Olemassa olevia moottorin fyysisiä osia onnistuttiin muokkaamaan käytettyjen menetelmien avulla ja näistä saatiin luotua digitaaliset mallit asiakkaan vaatimusten mukaan käyttäen 3D-skannausta ja kokeellista cad mallinnusta.

Haasteita opinnäytetyön tekoon loivat covid-19 viruksen tuomat rajoitukset campuksella, projektin alkuvaiheessa suoritettujen skannausten yhteydessä ja hankaloittivat kommunikaatiota työn painottuessa etätöihin. Lisäksi hankalaksi koettiin GOM Inspect -ohjelmiston käyttöön saadun opastuksen riittämättömyys projektin läpi viemiseen, jolloin itseopiskeluun kului suuri määrä aikaa ja yrityksen ja erehdyksen kautta oppimisesta yhtenä esimerkkinä voidaan mainita.

Toisinaan, ehkä skannerien käytöstä puuttuvan kokemuksen vuoksi, joitain erittäin kiinnostavia alueita ei skannattu riittävän tarkasti. Tämä ongelma ilmeni pääasiassa sylinterilohkon syvissä onteloissa ja joissakin kierteissä. Tämä projekti vaati näiden ankkuripisteiden sijainnin tarkan mittaamisen. Ratkaisuna päätettiin kierrättää ruuvit kaikkiin kierteisiin, joista puuttui määritelmä. Kunkin ruuvin kierteetön osa antaa kunkin kierteen tarkan keskikohdan ja sen halkaisijan. Tämä ratkaisu oli hyvin käytännöllinen ja tehokas.

Tulevia käyttäjiä varten olisi hyvä olla olemassa selkeät ja yksityiskohtaiset ohjeet skannerin käytöstä ja erityisesti GOM Inspect -ohjelman eri toimintojen käyttöön ja hyödyntämiseen liittyen. Tällä tavoin tulevien käyttäjien helpompi omaksua laitteisto ja itseohjautua sen käytössä.

Lähteet

- (2020). Haettu 18. 2 2021 osoitteesta gom-inspect.com: <https://www.gom-inspect.com/es/overview.php#:~:text=GOM%20Inspect%20es%20un%20software%20gratis%20de%20inspecci%C3%B3n%203D%20y,de%20medici%C3%B3n%20y%20datos%20CAD>.
- ABB Review. (Helmikuu 2019). *Gemelos digitales y simulaciones*. Noudettu osoitteesta <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK107492A3437&LanguageCode=es&DocumentPartId=&Action=Launch>
- Arroyo Vicente, S.;& Auvinen, E. (2021). *Käänteissuunnittelu ja muutokset*. HAMK.
- Artec 3D. (4. Maaliskuu 2021). *HD mode for 3D- Powered by Artec 3D AI Engine*. Noudettu osoitteesta Artec 3D- sivusto: <https://www.artec3d.com/portable-3d-scanners/hd-mode>
- Ayani , M.;Ganebäck, M.;& Amos, H. C. (4. Taamikuu 2021). *DiVa portal*. Noudettu osoitteesta DiVa portal sivusto: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1241633/FULLTEXT01.pdf>
- Cross li, J.;& Chikofsky, E. (1990). Reverse engineering and design recovery. *A taxonomy. IEEE software.IEEE Computer Society*. Washington, DC.
- Elsevier Science. (2010). A state of the art in structured light patterns for surface profilometry. Teoksessa J. Salvi;S. Fernandez;T. Pribanic;& X. Llado, *Patern recognition 43* (ss. 2666-2680). Elsevier Ltd.
- ERPS;& Davies, R. (6. Tammikuu 2021). *Industry 4.0 EU*. Noudettu osoitteesta Euroopan Parlamentti: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf)
- Euroopan komissio. (8. Tammikuu 2021). *EU:n oikeus- EUR-Lex* . Noudettu osoitteesta EUR-Lex sivusto: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SEC:2011:0871:FIN:FI:PDF>
- Funke, C. (16. Tammikuu 2021). *k3works.de*. Noudettu osoitteesta k3works sivusto: https://www.k3works.de/fileadmin/user_upload/News/005_presentation_optical_measurement.pdf
- GOM mbH. (2011). *ATOS Complete Scan m5 User manual – Hardware.pdf*. GOM mbH.
- GOM mbH. (2014). *ATOS V8 SR1 Manual Basic-Scanning with ATOS.pdf*. GOM mbH.

- GOM mbH. (2015). *GOM Correlate Professional V8 SR1 Manual Basic. Inspection – 3D Testing*.
GOM mbH.
- GOM mbH. (19. Tammikuu 2021). *GOM mbh*. Noudettu osoitteesta GOM Training Flyer
sivusto :
https://www.gom.com/fileadmin/user_upload/news/GOM_GPS_Training_Flyer_2015_EN.pdf
- Grieves, M. (Maaliskuu 2015). (F. I. Technology, Toim.) Noudettu osoitteesta ResearchGate
sivusto:
https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication
- Grieves, M.; & Vickers, J. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable
Emergent Behavior in Complex Systems. Teoksessa F.-J. Kahlen; S. Flumerfelt ; & A.
Alves, *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems* (s. 93). Switzerland:
Springer International Publications.
- Hakanen, T.; Apilo, T.; Heikkilä, J.; Hemilä, J.; Häkkinen, K.; Jussila, A.; . . . Simons, M. (18.
Helmikuu 2021). *OA_Teollisen_internetin_palvelut_valmistavassa_teollisuudessa.pdf*.
Noudettu osoitteesta Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy sivusto:
https://www.vttresearch.com/sites/default/files/julkaisut/muut/2018/OA_Teollisen_internetin_palvelut_valmistavassa_teollisuudessa.pdf
- Hindrichs, R. (2015). *Reverse Engineering*. New Jersey: Clanrye International.
- Hocken, R. J.; & Pereira, P. H. (2012). *Coordinate Measuring Machines and Systems Second
edition*. Boca Raton: CRC Press.
- Luhmann, T. (2011). 3D Imaging - How achieve highest accuracy. *Proceeding of SPIES Volume
8085, Videometrics, Range Imaging and Applications XI 25.-26.5.2011 Munich,
Germany* (ss. 565 - 566). Bellingham, Washington: SPIE.
- Munford, P.; & Normand, P. (2016). *Mastering Autodesk Inventor 2016 and Autodesk
Inventor LT*. Sybex A Wiley Brand.
- Parrott, A.; & Warshaw, L. (2017). Deloitte University Press. *Industry 4.0 and the digital twin*.
- Peltonen Motorsport. (9. Joulukuu 2020). *Etusivu Peltonen Motorsport*. Noudettu
osoitteesta Peltonen Motorsport: <https://www.esapeltonen.fi/fi/etusivu/>
- Rantala, J. (2002). *Auto- ja kurjetusalan perusoppi 6*. Keuruu: Kustannusyhtiö Otava.

Reference point markers: Zebicon. (4. Helmikuu 2021). Noudettu osoitteesta Zebicon a/s sivusto: <https://www.zeibicon.com/en/metrology-systems/accessories/reference-point-markers/>

Robert Bosch GmbH. (2003). *Bosch Autotekninen taskukirja 6. painos.* (K.-H. Dietsche;J. Crepin;& F. Dinkler, Toim.) Jyväskylä: Gummerrus Oy.

Scantech TM. (19. Helmikuu 2021). *3D Composite Scanner- 3D Scanning Professionals- Scantech.* Noudettu osoitteesta Scantech Sivusto: https://www.3d-scantech.com/product_category/composite-3d-scanner/

Sitra. (16. Helmikuu 2021). *Sitra- Suomen itsenäisyyden juhlarahasto.* Noudettu osoitteesta Sitra Megatrendit 2020: <https://media.sitra.fi/2019/12/15143428/megatrendit-2020.pdf>

Tedeschi, J. (20. 1 2017). *blogs.autodesk. A Look at the History of Inventor Through the Eyes of Jay Tedeschi.* Noudettu osoitteesta <https://blogs.autodesk.com/inventor/2017/01/20/look-history-inventor-eyes-jay-tedeschi/>

Teknologian tutkimuskeskus VTT oy. (11. Tammikuu 2021). *VTT.* Noudettu osoitteesta VTT's Research Information Portal: https://cris.vtt.fi/ws/portalfiles/portal/42494175/Digitalisation_in_Finnish_manufacturing_SMEs_final.pdf

Toyota Motor Company. (18. Helmikuu 2021). *Toyota Production System- Visions & Philosophy- Company.* Noudettu osoitteesta Toyota Global: <https://global.toyota/en/company/vision-and-philosophy/production-system/>

Wang, W. (2011). *Reverse Engineering Tecnology of Reinvention .* Bosa Raton: CRC Press.

Weismann, M.;Schwartz, C.;Ruiters, R.;& Klein, R. (2011). *A Multi-Camera, Multi Projector Super-Resolution Framework for Struktured Light.* Bonn: University of Bonn, IEEE.

zeiss.com. (6. Tammikuu 2021). Noudettu osoitteesta zeiss.com sivusto: <https://www.zeiss.com/metrology/products/systems/coordinate-measuring-machines/horizontal-arm-cmms/caleno.html>

Zetie, K. P.;Adams, S. F.;& Tocknell, R. M. (13. Tammikuu 2021). *Computer Science Department at Prinston University.* Noudettu osoitteesta Prinston University sivusto: https://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall06/cos576/papers/zetie_et_al_mach_zehnder00