

Koneistettavien kappaleiden työvarojen tarkastelu 3D-skannauksella

LAB-ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK), Konetekniikka (kone- ja tuotesuunnittelu)

2021

Kalle Pohjola

Tiivistelmä

Tekijä Pohjola, Kalle	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2021
	Sivumäärä 33+3	
Työn nimi Koneistettavien kappaleiden työvarojen tarkastelu 3D-skannauksella		
Tutkinto Insinööri (AMK), kone- ja tuotesuunnittelu		
Toimeksiantajan nimi, titteli ja organisaatio Tero Pikkusilta, Tuotantojohtaja, Jotex Works Oy		
Tiivistelmä Työssä tutkittiin, saavutetaanko 3D-skannauksella saavuttaa säästöä keskiraskaalla konepajalla, jos skannausta hyödynnettäisiin koneistettavien kappaleiden työvarojen tarkastelussa. Työssä vertailtiin eri laitetoimittajien 3D-skannereita teknisten ominaisuuksien perusteella. Eri 3D-skannereita testattiin käytännössä työhön valmistetun koekappaleen 3D-skannauksella, jolloin voitiin tutkia asetukseen kuluva aikaa 3D-skannausta hyödyntäen. Asetuksen teossa menevää todellista aikaa verrattiin teoreettisesti laskettuun aikaan. Näin ollen saatiin laskettua kapasiteetin kasvun kyseessä olevalle työstökoneelle. Lisäksi pystyttiin laskemaan laitteistohankinnan myötä tulevat kustannukset ja takaisinmaksuaika. Tulosten mukaan 3D-skannauksen hyödyntäminen työvarojen tarkastelussa sekä asetteenteossa on kannattavaa, koska pienentynyt asetteentekoon käytettävä aika kasvattaa työstökoneen kapasiteettia. Lisäksi levytöissä mahdollisesti tulevat virheet pystytään havaitsemaan ennen työstökoneelle tehtävää asetetta. Näin ollen työstökoneetta ei tarvitse turhaan seisottaa mahdollisten korjaustoimenpiteiden vuoksi.		
Asiasanat 3D-skannaus, työkappalekiinnitys		

Abstract

Author Pohjola, Kalle	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2021
	Number of Pages 33+3	
Title of Publication Examining the work resources of part to be machined using 3D-scanning		
Name of Degree Engineer (UAS), machine and product design		
Name, title, and organization of the client Tero Pikkusilta, Production Director, Jotex Works Oy		
Abstract The purpose of the research was to look at how time could be saved if 3D-scanning would be utilized to look at the machining allowance of machining parts. The work compared 3D-scanners offered by equipment suppliers based on theoretically reported properties. The test part was prepared for test scanning as well as setup. The time used to setup a piece can be compared to the time used in the calculation. The increase in capacity of the machine in question could be calculated in theory. In addition, the costs related to the purchase of equipment and the repayment period could be calculated. Utilizing 3D-scanning to check work parts as well as set up would be worthwhile as it would increase the capacity of the machine tool. Utilizing 3D-scanning for machining allowance measurement as well as part setup would be profitable as it would significantly increase the capacity of the machine tool. Welding and sheet metal work errors can be detected before setup to the machine. There is no need to stop the machining unnecessarily due to possible repairs.		
Keywords 3D-scanning, workholding		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	3D-skannaus	2
2.1	Yleistä.....	2
2.2	Historia	3
2.3	3D-skannauksen yleisimmin käytettävät menetelmät.....	4
3	Koneistettavien kappaleiden kiinnitys.....	7
3.1	Yleistä.....	7
3.2	Tyypillisiä kiinnitystapoja.....	9
4	Tutkimustyö	14
4.1	Perustaa	14
4.2	Koekappale.....	14
4.3	Tarjottujen 3D-skannereiden ominaisuuksien vertailu	18
4.4	Työssä käytetyt 3D-skannerit.....	22
4.5	Koekappaleen 3D-skannaus ja vertailu CAD-malliin	26
4.6	Asetusaika ja asetuspaikka.....	28
5	Pohdinta	30
6	Yhteenveto	32
	Lähteet	33

Liitteet

Liite 1. Valmistuskuvat

1 Johdanto

Työssä tutkitaan, miten konepajalla pystyttäisiin hyödyntämään 3D-skannausta avarruskoneella koneistettavien kappaleiden työvarojen tarkastelussa sekä levytöiden laadunvarmistamisessa. Tarkoituksena on selvittää, miten 3D-skannausta hyödyntämällä pystyttäisiin tekemään kappaleiden kiinnitykset sekä asetteet ennen kappaleen vientiä työstökoneelle. Asetteella tarkoitetaan koneistettavien kappaleiden kiinnittämistä työstökoneelle. Työn tuloksena on selvittää, saadaanko lisättyä työstökoneelle työstökapasiteettia, mikäli asetteiden ja työvarojen tarkastuksien tekemiseen ei käytettäisi koneen työstöaikaa ollenkaan.

Työssä selvitetään tarvittavat laitteistot sekä ohjelmistot laitetoimittajilta, tilantarve missä voidaan suorittaa 3D-skannaus, asetteenteko ja kappalekiinnitys sekä tarvittavat kiinnittimet ja tarvikkeet. Edellä mainituille hankinnoille lasketaan kustannukset sekä kustannusten takaisinmaksuaika verrattuna säästettyyn konetyöaikaan. Tutkitaan 3D-skannauksen soveltuvuutta koekappaleella. Lisäksi kappaletta on tarkoitus käyttää työstökoneella tehdyn asetusajan mittauksessa, jota voidaan verrata työstökoneella säästettyyn työstöaikaan.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Jotex Works Oy, joka on Lappeenrannan Joutsenossa toimiva keskiraskas tilauskonepaja. Yritys on perustettu vuonna 1994 ja yritys toimii alihankkijana suomalaisille ja eurooppalaisille metalliteollisuuden yrityksille niin kokonaisuuksien kuin osien valmistajana. Sen päätuotteita ovat erilaiset asiakkaan valmistuspiirustuksien mukaisesti toteutetut komponentit ja kokonaisuudet. Jotex Worksin konekanta soveltuu lyhyiden sekä pitkien teräsrakenteiden hitsaukseen ja koneistukseen. Koneistuksessa käytettävien koneiden kapasiteetit yltyvät 12 metriin pituuden osalta ja massaltaan 32 000 kilogramman kokonaisuuksille. Haponkestävät osat voidaan pintakäsitellä altaassa tai ruiskepitata. Tarvittaessa osat maalataan. Huolto- ja asennustyöt tehtailla ja paperikoneteollisuudessa ovat osa toimintaa. Työt suoritetaan laatujärjestelmä ISO EN 9001:2015 mukaisesti. Hitsausprosessit ovat sertifoitu SFS-EN ISO 3834-2 -laatustandardin mukaisesti. Ympäristöasioissa toimitaan laatujärjestelmä ISO 14001 mukaisesti. (Jotexworks.)

2 3D-skannaus

2.1 Yleistä

3D-skannaamalla voidaan tallentaa minkä tahansa kappaleen tai esineen muodot. Tekniikka, jossa käytetään 3D-skanneria kappaleen muotojen tallentamiseen, kutsutaan 3D-skannaukseksi. 3D-skannauksen jälkeen saamme kolmiulotteisen tiedoston kohteesta. 3D-skannattu tiedosto pystytään tallentamaan, muokkaamaan sekä mahdollisesti tulostamaan 3D-tulostimilla. 3D-skannauksen suorittamiseen on erilaisia menetelmiä, jotka perustuvat eri periaatteisiin. Jokaisella menetelmällä on omat etunsa, rajoituksensa ja kustannuserot. (Edge3d.io.)

Tällä hetkellä uusimmalla 3D-skannaustekniikalla voidaan muodon lisäksi saada kohteen väritiedot tallennettua järjestelmään samanaikaisesti. 3D-skannattua väripintaa kutsutaan tekstuuriksi. (Edge3d.io.)

3D-skannaukset ovat yhteensopivia CAD-ohjelmiston (Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu) ja myös 3D-tulostimien kanssa. Käänteisen suunnitteluprosessin avulla 3D-skannauksella voidaan tuottaa paljon tietoa kohteen suunnittelusta. (Edge3d.io.)

3D-skannaus on erittäin hyvä sovellus esimerkiksi autoteollisuudessa, ilmailussa, hammaslääketieteessä, korujen valmistuksessa, videopeleissä, erikoistehosteissa ja animaatioelokuvissa. 3D-skannerit ovat tehokkaita työkaluja yllä olevien alojen ammattilaisille. (Edge3d.io.)

3D-skannaustekniikalla voidaan saavuttaa huomattavaa ajansäästöä ja kustannustehokkuutta. 3D-skannaus tarjoaa mahdollisuuden käänteiseen suunnitteluun, sen avulla voidaan tarkastaa monimutkaisia kappaleita ja kokoonpanoja. Lisäksi sen avulla voidaan mitata suuremmalla tarkkuudella ja lyhyemmällä ajalla verrattuna perinteisiin mittausmenetelmiin. Sen sijaan, että kerättäisiin pisteitä yksi kerrallaan kuten koordinaattimittauskoneella tehdään, laserskanneri tallentaa kymmeniä tuhansia pisteitä sekunnissa. Laserskanneri havaitsee kappaleen pinnalta palautuneen lasersäteen heijastuksen. Laserskannauksen avulla saadaan tallennettua lähes kaikki muodot, niiden monimutkaisuudesta huolimatta. Laserskannauksella kappale pystytään skannaamaan minuuteissa 0,0005 tuuman (0,0127 millimetrin) tarkkuudella. Skannauksen ansiosta saadaan säästettyä mittauksissa menevää aikaa ja mahdollisuuden tarkastaa kappaleet tai tuotanto-osat, jotka tuottavat lisätuloja. Samalla saadaan läpimenoaikoja tuotannossa lyhyemmiksi. (Laserdesing.)

3D-skannaamalla pystytään tunnistamaan tarkalleen, miten valmistetut kappaleet eroavat suunnitteluista kappaleista. Uusia kappaleita voidaan kehittää olemassa olevista CAD-malleista sen sijaan, että aloitettaisiin kokonaan alusta. CAD-mallinnus laserskannaustiedoista

on noin kahdeksan kertaa nopeampaa kuin aika, joka menee uudelleen mallintamiseen, mikäli mallin luominen toteutetaan manuaalisesti CMM-mittaustiedoista (Coordinate-Measuring Machine, koordinaattimittauskone). Miljoonat 3D-skannauksen koordinaatit määrittelevät kaikki vapaamuotoiset pinnan muodon muutokset, jotka ovat ajan käytön näkökulmasta vaikeita tai epäkäytännöllistä mitata kosketusjärjestelmään perustuvalla CMM-tekniikalla. Laserskannauksen edut sovelluksissa auttavat selittämään, miksi tämän tekniikan käyttö kasvaa nopeasti metallinmuokkaus- ja valmistusteollisuudessa. (Laserdesing.)

2.2 Historia

3D-laserskannausmenetelmä on kehitetty 1960-luvulla. Laserskannauksella pyritään luomaan erilaisten paikkojen ja esineiden pintoja. Ensimmäiset skannerit käyttivät valoa, kameroita ja projektoreita skannauksen suorittamiseen. Laitteistot olivat rajoittuneita ja tästä syystä meni kauan aikaa ja vaivaa tarkan skannauksen suorittamiseen. Vuoden 1985 jälkeen laitteet korvattiin skannereilla, jotka pystyvät hyödyntämään valkoista valoa, lasereita ja varjostimia pinnan mallintamiseen. (Modena.)

Tietokoneiden yleistyttyä tuli mahdolliseksi mallintaa monimutkaisia kappaleita ja kokoonpanoja. Monimutkaisten mallien toteutus osoittautui hankalaksi, koska mittaus käytössä olevilla mittausmenetelmillä oli hyvin hankalaa. Tämän takia työkaluteollisuus kehitti kosketusanturin, jolla voidaan mitata monimutkaiset kappaleet ja todeta ne oikeanlaisiksi. Tämä prosessi on kuitenkin todella hidasta. (Modena.)

Näiden ongelmien takia kehitettiin laitteisto, jolla voidaan saada siepattua sama määrä mittaus pisteitä, mutta nopeammalla tavalla ja tämä johti tehokkaampaan sovellukseen. Asiantuntijat aloittivat kehittämään optiikkaa, koska valon käyttö oli paljon tehokkaampaa kuin fyysisen pinnan kosketin. Tämä mahdollisti myös pehmeiden esineiden skannaamisen, joita ei pystytty fyysisellä koskettimella mittaamaan. (Modena.)

Ensimmäisenä oli käytössä sädetekniikka, joka kuitenkin osoittautui erittäin haastavaksi ohjelmistoille. Skannerilla jouduttiin ottamaan useita skannauksia eri suunnista, jotta saatiin luotua kappale kolmiulotteiseksi. Suurimmat haasteet olivat näiden skannausten yhteen liittäminen, päällekkäisten tietojen ja ylimääräisten asioiden poistaminen, jota väkisin kertyy, kun kerää useita miljoonia pisteitä kerralla. (Modena.)

Cyberware Laboratorios of Los Angelesin kehitti 1980-luvulla ensimmäisen skannerin, jonka avulla oli tarkoitus saada ihminen liitettyä osaksi animaatiota. 1995-vuoteen mennessä he olivat kehittäneet jo kokovartalo skannerin. Ensimmäinen 3D-skanneri nimettiin Replicaksi ja se lanseerattiin vuonna 1994. Skanneri mahdollisti tarkan ja nopean kohteiden skannauksen, joka edisti lasersäde-skannausmenetelmää. Samaan aikaan he kehittivät

myös skannereita, joista osa pystyi tallentamaan myös objektivärit, mutta silti tästä edistyksestä huolimatta kolmiulotteinen skannaus sen aikaisella nopeudella ja tarkkuudella oli hankalaa. (Modena.)

Digibotics esitteli 4-akselisen koneen, jolla pystyi luomaan täydellisen 3D-mallin yhdellä skannauksella, mutta tämä perustui laserpisteeseen eikä lasersäteeseen ja tästä syystä oli hidas käyttää. Järjestelmällä ei myöskään saatu riittäviä vapausasteita, että olisi saatu koko pinta mallinnettua kerralla. Lisäksi sillä ei voinut digitalisoida värillisiä pintoja. (Modena.)

Kalliit optiset skannerit unohtuivat kuitenkin pian, kun Immersion ja FARO Technologies esittelivät edullisia käsikäyttöisiä digitoijia. Näillä onnistuttiin tuottamaan kokonaisia malleja, mutta niiden ensimmäiset versiot olivat hitaita erityisen tarkan ja yksityiskohtaisen mallin luonnissa, eivätkä ne pystyneet digitoimaan värillisiä pintoja. (Modena.)

Vuonna 1996 markkinoille tuli 3D-skannerit, joita käytetään manuaalisesti käsin ja lisäksi ne hyödyntävät sädettä käyttäen 3D-skannerin tekniikoita. Niissä yhdistyivät mallintajien vaatimukset skannereista tarkkuudesta, nopeudesta, kolmiulotteisuudesta, kyvystä digitalisoida värillisiä pintoja ja kohtuuhintaisuudesta. Nämä mahdollistivat maailman ensimmäisen nopean ja joustavan Reality Capture-järjestelmän. Edistyneimmät skannaustekniikat tuottavat monimutkaisia malleja, joissa on erilaisia tekstuureja ja värejä. Lisäksi skannaus voidaan suorittaa muutamassa minuutissa. (Modena.)

2.3 3D-skannauksen yleisimmin käytettävät menetelmät

Kolmiomittaukseen perustuva

Kolmiomittaukseen perustuva 3D-skannaus heijastaa lasersäteen skannattavalle pinnalle ja mittaa lasersäteiden muodonmuutoksen. Menetelmä käyttää yksittäisiä laseripisteitä tai laserlinjaa skannattavan kohteen ympärillä. Lasersäde heijastetaan kappaleeseen ja kun se heijastuu pois kappaleesta, sensori tallentaa sen liikeradan muutoksen. Lasersäteiden heijastuksen muutosta mitataan käyttämällä siihen trigonometrisiä funktioita, joilla laskeaan poikkeamakulma. Etäisyys kappaleesta skanneriin antaa kulmamitan suoraan. Skannerin etäisyyden kappaleesta tietämällä skannauslaitteisto voi kartoittaa kohteen pinnan ja siten tallentaa 3D-skannauksen. Kolmiomittaukseen perustuvan 3D-skannauksen etuja ovat sen hyvä resoluutio ja tarkkuus. Menetelmä on erittäin herkkä skannattavan pinnan ominaisuuksille. Hyvin kiiltävien tai läpinäkyvien pintojen skannaus saattaa tuottaa ongelmia. (Edge3d.io.)

Strukturoituun valoon perustuva

Strukturoituun valoon perustuva tekniikka hyödyntää kohteen valon muodonmuutoskuviota ymmärtääkseen sen kolmiulotteisen geometrian. Skannerit käyttävät trigonometristä kolmiomittausmenetelmää laserin sijaan. Se toimii heijastamalla kappaleelle sarjan samansuuntaisia viivoja. Järjestelmä tutkii kuvion jokaisen viivan reunat sekä laskee epäsuorasti etäisyyden skannerista kohteen pintaan. Strukturoidun valon värinä käytetään yleensä valkoista tai sinistä. Valon muodostamiseen käytetään erityyppisiä projektoreita, esimerkiksi DLP-tekniikkaa (Digital Light Processing, mikrobeililaite). Heijastettu valonsäde on yleensä joko lineaarinen sarjakuvio tai se voi olla myös satunnainen pistematriisi. Strukturoituun valoon perustuvan tekniikan edut ovat sen hyvä resoluutio sekä nopeus ja lisäksi tätä tekniikkaa voidaan käyttää ihmisten skannaamiseen. Suurin haitta strukturoituun valoon perustavassa 3D-skannauksessa on sen herkkyyden valaistusolosuhteille ja siitä syystä sitä on vaikea käyttää ulkona. (Edge3d.io.)

Fotogrammetria tekniikka

Fotogrammetria skannausta kutsutaan myös 3D-skannaukseksi valokuvista. Tällä tekniikalla tallennetaan valokuvia kappaleista eri kuvakulmista. Tämän jälkeen laskennallisen geometrian, algoritmien ja tietokonenäön avulla kaapatut valokuvat tai 2D-kuvat kappaleesta luodaan 3D-muotoon. Fotogrammetria on tekniikka, joka ottaa mittaukset valokuvista. (Edge3d.io.)

Fotogrammetria tunnistaa pintapisteiden tarkan sijainnin ja hyödyntää laskennallista geometriaa, algoritmeja ja tietokonenäön yhdistelmää. Peruseriaatteena on analysoida kappaleesta otettuja valokuvia, jotka ovat otettu eri näkökulmista. Tämän jälkeen samaa fyysistä pistettä vastaavat pikselit havaitaan automaattisesti. Kameraparametrit, kuten polttoväli ja objektiivin vääristymä, ovat tarvittavia tietoja. (Edge3d.io.)

Fotogrammetria skannaustekniikan tärkeimmät edut ovat sen tarkkuus, kuvausnopeus ja kyky muodostaa eri mittakaavassa olevia kohteita, jotka ovat kuvattu maasta tai ilmasta. Tekniikan suurin haaste on analysoida tarkasti useita valokuvia ja niiden kaikkia kohtia. Näiden fotogrammetria algoritmien suorittamiseen tarvitaan todella tehokas tietokone ja laskentaan kuluu todella paljon aikaa. Lisäksi järjestelmä on herkkä valokuvien tarkkuudelle. (Edge3d.io.)

Kontaktiin perustuva

Kontaktiin perustuvaan mittaukseen käytetään nimensä mukaisesti kosketinanturia, joka antaa paikkatietoja. Anturin muodonmuutos kosketuksessa skannattavan kappaleen kanssa antaa tietoja skannattavan kohteen pinnasta. Digitointi on toinen nimi kontaktipohjaiselle skannaukselle. Tässä skannausmenetelmässä kappale joko pysyy paikallaan tai kappaletta liikutetaan riippuen laitteen mittaustavasta. Mikäli mittaustalaitteessa on liikkuva anturi, silloin kappale pidetään paikallaan. Jos taas mittaustalaitteessa on kiinteä anturi, niin silloin kappaletta joudutaan liikuttamaan. Koskettimen muodonmuutos kontaktissa pinnan eri pisteiden kanssa auttaa skannausohjelmistoa muodostamaan kappale kolmiulotteiseksi. Koordinaattimittauskoneet ovat kontaktiin perustuvien skannereiden erityinen kokoonpano. Tätä skannausta käytetään pääasiassa laadunvalvontaan valmistuksen jälkeen tai huolto-toimenpiteiden aikana. Kontaktipohjaisen tekniikan edut ovat sen tarkkuus ja kyky skannata heijastavia tai läpinäkyviä pintoja. Tekniikan haittoja ovat sen kyvyttömyys työskennellä orgaanisten kappaleiden kanssa, koska tekniikka vaatii fyysisen kontaktin sekä sen hitaus työskennellä monimutkaisten muotojen kanssa, koska joudutaan ottamaan monia mittaus-pisteitä. (Edge3d.io.)

LASER-pulssipohjainen tekniikka

Laser-pulssiin pohjautuva 3D-skannaustekniikka tunnetaan myös nimellä TOF (Time of flight, valon lentoaikaan perustuva skanneri) tai Lidar (light detection and ranging, valotutka). Tekniikka perustuu laservalopulssin lentoaikaan. Kappale valaistaan ensin laserin säteellä. Mittausanturi havaitsee ja laskee aikaa sekä kerää tiedon skannattavan kappaleen pinnalta takaisin heijastuneelle lasersäteelle. Aika, joka lasersäteellä kestää lähtöpisteestä anturin vastaanottopisteeseen antaa kohteen geometrisen informaation. Nämä skannerit mittaavat lasersäteen osumista kappaleeseen, heijastumiseen ja palaamiseen. Valonnopeuden avulla voidaan laskea aikavälin tarkka etäisyys kappaleen ja 3D-skannerin välillä. Tarkempia mittauksia varten etäisyydet voidaan mitata miljoonilla pikosekunnin (0,000000001 sekuntia) tarkkuudella olevilla laserpulsseilla. (Edge3d.io.)

Lasersäde on lähetettävä 360 astetta tietyn pisteen ympäri, koska jokainen mittaus kerää vain yhden pisteen tiedot. Laserin suunta tai polku muunnetaan 3D-skanneriin kiinnitetyn peilin tai heijastavan pinnan avulla. (Edge3d.io.)

Laserpulssiskannerit ja lasersädeskannereiden alaluokkana vaihesiirtoskannerit sisällytetään Lidar-skannereihin. Lasersäteilyn lisäksi vaihesiirtolaserit kykenevät moduloimaan lasersäteen tehoa ja siksi tarjoavat paremman suorituskyvyn. Laser-pulssipohjaisen skannauksen suuri etu on siinä, että sillä voidaan skannata suuria kappaleita sekä suuria kokonaisuuksia. Menetelmä on kuitenkin toteutukseltaan hidasta. (Edge3d.io.)

3 Koneistettavien kappaleiden kiinnitys

3.1 Yleistä

CNC-koneistettuja (Computer Numerical Control, tietokoneistettu numeerinen ohjaus) osia valmistaessa on erittäin tärkeää aluksi selvittää paras työtapo kappaleen asetteen tekemiseen ja kiinnitykseen. Tämä vaihe tehdään ennen työstöpolun piirtämistä ja sen takia se on tärkeässä roolissa prosessiin nähden. (3erp.)

Kappaleen asetteen tekeminen ja kappaleen kiinnittäminen ovat keskeisiä CNC-työstöprosesseissa (3erp). Koneistettavan kappaleen täytyy pysyä liikkumatta paikallaan (Ansaharju & Maaranen 1997, 350). Kappale tulee olemaan niin hyvä kuin se on asetettu ja pysyy paikallaan koneen työtasolla (3erp). Mikäli kappale jostain syystä pääsee liikkumaan tai irtomaan, terä tai itse kone saattaa vaurioitua, kappaleen mittatarkkuuden huonontumisen takia kappale saattaa mennä hylkyyn tai pahimmassa tapauksessa voi aiheutua työtapaturma (Ansaharju & Maaranen 1997, 350). Koneistajat ja insinöörit ovat kehittäneet lukuisia ratkaisuja työkappaleen pitämiseksi paikallaan (3erp).

Koneistettaessa kappaleet on kiinnitettävä ehdottomasti siten, etteivät ne pääse irtomaan työstön aikana, koska lastuttaessa syntyy suuria voimia. Jyrsinnässä, lastun paksuuden vaihtelun takia lastuamisesta tulee nykivää. Kappaleen on pysyttävä tukevasti kiinni, ettei se pääse irtomaan tai liikkumaan. Mikäli kappale on kiinnitetty riittävän hyvin, pystytään lastuamisessa käyttämään oikeita työstöarvoja, jolloin työstö saadaan mahdollisimman tuottavaksi (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 177.)

Jyrsinnässä on kuitenkin tiettyjä erityisiä vaatimuksia kappaleiden kiinnityksen suhteen. Jyrsintätyökalussa on useimmiten useita teriä, jotka leikkaavat kappaletta vuorotellen. Tämän takia koneistuksessa voimat, jotka syntyvät ovat iskumaisia ja epätasaisia. Iskumaisen kuormituksen takia kiinnitykset joutuvat suuremmalle rasitukselle kuin suuressa tasaisessa kuormituksessa. Jyrsimenterät eroavat paljon toisistaan ja toisiinsa nähden ne aiheuttavat erilaisia voimia. Jyrsintätavan mukaan terä saattaa pyrkiä painamaan kappaletta pöytää kohden tai nostamaan sitä pöydästä pois päin. Kappaleen koko pinnan koneistuksessa kiinnitys on suunniteltava sillä tavalla, että se ei estä koneistusta. Mikäli kappale on monimuotoinen tai jyrsittävä muoto on hankala, voi kiinnityksen suunnittelu olla erittäin haastavaa. (Ansaharju ym. 1989, 265.)

Kiinnitysvoima pystytään tuottamaan myös muillakin menetelmillä kuin mekaanisella kiristyksellä. Laitetoimintoisia kiinnitysmenetelmiä ovat hydromekaaniset, sähkömekaaniset, fyysiset eli käyttäjäkiinnitteiset, hydrauliset ja pneumaattiset. Tämän tyyppisiä kiinnitystapoja käytettäessä kiinnittimen täytyy olla itsepidättyvä tai kiinnitysvoima tuotetaan jousella.

Ulkopuolista energiaa tarvitaan vain kappaleen irrotuksessa. Kappale ei tällöin pääse irtoamaan, jos esimerkiksi hydraulijärjestelmä hajoaisi. Laitetoimisilla kiinnittimillä tietyt edut käsitoimisiin verrattaessa. Laitetoimiset kiinnittimet ovat nopeita käyttää, suuria kiinnitysvoimia pystytään säätämään tarkasti, kiinnitysvoima pystytään toistamaan kerrasta toiseen, käyttäjä ei joudu rasitukselle alttiiksi ja kiinnittäminen voidaan automatisoida tarvittaessa. (Työkappaleiden kiinnittäminen FM-järjestelmässä 1989, 8–9.)

Kiinnittimet ovat pääasiassa erikoistyövälineitä ja suunniteltu yhden kappaleen koneistusta varten. Ryhmäkiinnittimillä pyritään koneistamaan yhdellä kiinnitys kerralla kaikki samaan kokoonpanoon kuuluvat osat. (Aaltonen, ym. 1997, 234.)

Kappalekohtainen kiinnitin sopii silloin, kun kappaleiden eräkkö vuositason on hyvin suuri. Pääsääntöisesti yksittäiskappaleet kiinnitetään koneistettaessa modulaarisilla yleiskiinnittimillä. Yleiskiinnittimillä voidaan toteuttaa hyvin paljon erilaisia kiinnitysratkaisuja. Jyrsittäessä kappale kiinnitetään yleisimmin kulmatasoon, jyrsinkoneen pyöröpöytään, kone-ruuvipuristimeen, V-kappaleeseen, pyöröpöytään tai jakolaitteeseen (Maaranen 2004, 190.)

Työstökoneelle kappaleiden kiinnityksessä pyritään käyttämään niin sanottua vapaata kiinnitystapaa. Vapaa kiinnitys tarkoittaa sitä, että kappaleen muodonmuutoksia ei pakoteta asetteen teossa kiinnikkeillä. Mikäli kappale kiinnitetään liian tiukasti tai väärästä kohdasta, että aiheutuu muodonmuutoksia itse kappaleeseen tai kiinnittimiin, niin silloin kappaleen irrotuksen jälkeen suurella todennäköisyydellä geometriset toleranssin ja mittatarkkuudet eivät pidä paikkaansa. Esimerkiksi hitsatuissa kokoonpanoissa on monesti lämmöstä aiheutuvia muodonmuutoksia. Lämmöstä johtuvat vääntymät pyritään oikaisemaan hitsauksen jälkeen sekä ottamaan huomioon asetetta tehdessä. (Pikkusilta 2021.)

Kappaleessa olevat muodonmuutokset pyritään saamaan mahdollisimman pieniksi esimerkiksi puolittamalla muodonmuutokset, jotta vaadittavat mittatarkkuudet täytyisivät pintaa oikaistaessa. Puolittamisella tarkoitetaan valmistusvirheistä johtuvien muodonmuutoksien kokonaisuuden korjausta. Mikäli kappaleen toinen pää on neljä millimetriä kiinnityspinnan yläpuolella, niin silloin asetetaan kahden millimetrin paksuiset levyt kappaleen ja kiinnityspinnan väliin molempiin päihin. Kappaleet, jotka ovat vääntyneitä tai kiertyneitä asetetaan kiinnitys pöydälle vapaasti ja kiinnityspisteiden kohdalle kappaleen ja pöydän väliin laitetaan vaadittavan paksuuden verran levyä, ettei kiinnityksestä aiheudu muodonmuutoksia. (Pikkusilta 2021.)

3.2 Tyypillisiä kiinnitystapoja

Alla tarkastellaan joitain tunnetuimpia menetelmiä koneistettavien kappaleiden kiinnittämisessä ja arvioita niiden hyvistä sekä huonoista puolista.

T-urakiinnitys

Kappaleen kiinnipidon kannalta T-urat tarjoavat T-muotoisen aukon, jossa T:n muotoinen poikkiura on pöydän alapuolella tai itse pöydässä. Tämän ansiosta mutteri mahtuu uraan, jonka avulla saadaan liikkuva paikka ruuvien tai puristimen asettamiseksi. (3erp.)

T-uran hyödyntäminen on yleisin kiinnitystapa yksittäis- ja kappaleidenkiinnityksessä. T-uraan on olemassa hyvin paljon erilaisia moduloituja kiinnittimiä. T-ura kiinnittämiseen on olemassa monia erilaisia kiinnittimiä, joilla jokaisella on omat etunsa sekä haittansa. (3erp.)

Liimaaminen

Bakeliittilohkon lisääminen työpöydälle on suosittu työtapamenetelmä erityisesti prototyyppi osien koneistuksissa. Kappaleet voidaan liimata bakeliittipöytään. Useimmat prototyyppialan yritykset toteuttavat sen tällä menetelmällä. (3erp.)

Liimaus on erittäin helppo ja suosittu ratkaisu kappaleen kiinnittämiseen. Sitä voidaan hyödyntää sekä tasaisille että epäsäännöllisen muotoisille kappaleille. Liimaamisella pystytään saavuttamaan korkeampi lujuus kuin teippaamalla. Kappaleiden poistaminen bakeliitista vaatii maalikaavinnan tai manuaalisen kuorinnan. Liimat ovat todella hyödyllisiä prototyyppi- ja muovikoneistuksissa. (3erp.)

Liiman oikeaoppiseen levittämiseen edellytetään tasaista kerrosta, jotta kappale pysyy tasaisena. Liimaaminen on nopea, halpa ja tehokas kiinnitys vaihtoehto, mutta liimakiinnitys käyttäytyy eri tavalla käytettävän materiaalin mukaan. Esimerkiksi kuumaliima saattaa irrottaa joskus palasia materiaaleista, kuten vaahdosta tai puusta. Vaurioiden välttämiseksi on tärkeää levittää liimaa valikoivasti ja sijoittaa se alueille, jotka eivät ole esteettisesti tai toiminnallisesti tärkeitä. (3erp.)

Liimauksen hyötyjä ovat useiden kappaleiden liimaaminen alustaan yhdellä kertaa, mikä tarkoittaa vähemmän kappaleiden vaihtoja käyttäjille. Lisäksi se on tehokas menetelmä muovi- tai alumiiniprototyyppien valmistamisessa. Huonoja puolia liimauksessa ovat, että kappale saattaa päästä irtomaan liimauksesta tai kappale vahingoittuu sitä irrotettaessa. (3erp.)

Ruuvikiinnitys

Ruuvikiinnitykset ovat hyvä tapa pitää kappale kiinni koneistuksessa hyödyntämällä suoraan työpöydän T-uria. Alumiinilevyn lisääminen työpöydälle saattaa olla jopa parempi vaihtoehto kuin T-urien hyödyntäminen, koska alumiiniin on helppo valmistaa kierrereikiä. Kierrereikiä voidaan helposti myös lisätä tarvittaessa. Kierrereikiä voidaan hyödyntää puristimien kanssa ja ne mahdollistavat paremman tason ja vakauden. (3erp.)

Kappaleiden ruuvikiinnittämiseen käytetään T-muttereita, nastoja ja laippamuttereita. Ruuvit ja mutterit ovat erittäin hyödyllisiä, jos työtasossa on kierteistetyt reiät T-urien sijasta. Tällaisissa tapauksissa ruuvit voidaan kiertää tarvittaviin kohtiin pitämään erikokoisia pitimiä paikallaan. (3erp.)

Ruuvit ovat varma tapa pitää työkappale paikallaan, jolloin voidaan työstää kappaletta erittäin tehokkaasti. Monimutkaiset geometriatkaan eivät yleensä aiheuta ongelmia. Ruuvien käyttäminen vaatii ylimääräistä materiaalia käytettäväksi alustana. Hukkaan menevän materiaali määrä saattaa olla kriittinen suurien osien koneistuksessa, ja asetuskohdat on merkattava hyvin. Kun leikataan osia rungosta, kiinnityskohdat voivat aiheuttaa ongelmia. (3erp.)

Koneruuvipuristin

Koneenkäyttäjät pyrkivät käyttämään koneruuvipuristimia vakiokappaleita kiinnittäessä. Koneruuvipuristin pitää kappaletta yleisesti päistä kiinnitettynä kahden leuan välissä, kun työkalu työstää materiaalia kappaleesta. Ne ovat erityisen hyödyllisiä sellaisille kappaleille, joissa on suorat reunat, mutta ne voidaan myös sovittaa pyöristettyjen reunojen kanssa. Kiinnitystavan mukaan pyöristettyjen kappaleiden kiinnittäminen saattaa vaatia pehmeiden leukojen käyttöä, jotka voidaan jyrsiä työkappaleen tukemiseksi. (3erp.)

Nykyaikaiset ruuvipenkit ovat suunniteltu pikakytkentäalustaisiksi. Ruuvipenkin ansiosta koneistaja pystyy kiinnittämään kappaleen CNC-koneeseen. Kun osat on koneistettu, seuraava erä pystytään asettamaan nopeasti. (3erp.)

Ruuvipenkit mahdollistavat lastuamisen suurilla nopeuksilla ja helpottavat kappaleen sijoittamista toistuvia osia valmistettaessa. Ne ovatkin tehokas tapa valmistaa suuria määriä kappaleita CNC-koneella. Voidaan laittaa useita ruuvipenkkejä CNC-koneelle, jotta voidaan työstää eri osat yhdellä kertaa. Ruuvipuristinkiinnityksessä on oltava säännöllinen geometria sekä yhdensuuntaiset pinnat. Muissa tapauksissa tarvitaan kappaleen mukaan valmistetut leuat. (3erp.)

Yhdistelmäkiinnikkeet

Yhdistelmäkiinnikkeet tai "rakennuspalikkapuristin" koostuu sarjasta erilaisia komponentteja, joissa on vakiomallit, erilaiset toiminnot, erilaiset tekniset tiedot ja koot. Näitä työstökoneen kiinnittimiä pystytään kokoamaan samalla tavalla kuin rakennuspalikoita. Käytettävyyden kannalta yhdistelmäkiinnittimet ovat suunnittelussa ja valmistuksessa hyvin nopeita käyttää ja siitä syystä ne soveltuvat pienien erien tuotantoon. Yhdistelmäkiinnittimien etuja ovat suuri paikannustarkkuus, kiinnitysjoustavuus, toistuva käyttö, energian ja materiaalien säästö sekä alhaiset käyttökustannukset. Ne soveltuvat hyvin pieniin tuotantoeriin, jotka vaativat monimutkaisia muotoja. (3erp.)

Yhdistelmäkiinnittimien etuna on myös niiden kyky parantaa tiettyjä komponentteja ja vaihtaa niitä kappaleen erityisvaatimusten mukaan. Esimerkiksi yhdistettyjen tarkkuuspihtien käytöllä voidaan saavuttaa enemmän monipuolisuutta, korkeampi standardointi, helpompi käyttö ja luotettavampi kiinnitys. Tämän tyyppisellä tarkalla litteällä pihdillä on etuna sen nopea ja helppo asennus sekä kiinnitys. Niillä voidaan lyhentää tuotannon valmisteluaikaa ja parantaa pienien erien tuotantotehokkuutta. (3erp.)

Puristimet

Puristimet ovat halpoja ja yksinkertaisia käyttää, kuitenkin niiden yksinkertaisuudella voi olla myös haittoja. Kappaleen kiinnittäminen ainoastaan yhdeltä puolelta saattaa aiheuttaa sen nousemisen vastakkaiselta puolelta, joten on muistettava varmistaa, että kappale on tasaisesti kiinnitetty ennen koneistamista. Myös kappaleiden ja osien leikkaaminen materiaalista saattaa olla hankalaa, ja vaatii useita puristimia ja todennäköisesti lisäksi muita keinoja materiaalin kiinnittämiseksi. Raskaampiin kappaleisiin suositellaan erityyppisiä puristimia työkulun helpottamiseksi. (3erp.)

Hydrauliset ja pneumaattiset kiinnikkeet

Hydrauliset ja pneumaattiset kiinnittimet käyttävät lisävirtalähteitä työkappaleen oikeaan paikantamiseen, tukemiseen ja puristamiseen hydraulisten tai pneumaattisten komponenttien avulla. Tämän takia niillä voidaan määrittää tarkasti ja nopeasti kappaleiden asennot työstökoneille ja muille leikkaustyökaluille. Niillä voidaan saavuttaa myös muita etuja, kuten kompakti rakenne, moniasemainen kiinnitys, nopea raskas leikkaus ja automaattiset ohjaukset, joista kaikki nopeuttavat materiaalin käsittelyä. Näiden ominaisuuksien takia, näiden kiinnikkeiden käyttö on suositeltavaa CNC-työstökoneilla, työstökeskuksilla sekä joustavissa tuotantolinjoissa. (3erp.)

Imupöydät

Imu- ja tyhjiöpöydät pitävät kappaletta paikallaan tuottamalla imulla pidätysvoiman, mikä johtuu kappaleeseen kohdistetun imun ja ylhäältä alaspäin painuvan ilmakehän paineen erosta. Tyhjiöpöydät ovat usein paras kiinnitysratkaisu levymäisten kappaleiden CNC-koneistuksiin. (3erp.)

Imupöytiä pystytään hyödyntämään monenlaisille materiaaleille ja ne ovat hyödyllisiä materiaaleilla, joita ei pystytä kiinnittämään kiinnittimillä kuten korkean teknologian komposiitit eli hiilikuitu tai edistyneet synteettiset materiaalit kuten nailon. Imupöydillä voidaan myös minimoida kiinnityksistä johtuvat esteet, joita saattaa tulla väkisin puristimilla tai muilla ratkaisuilla. Samalla tehdään asennuksesta ja vaihdosta paljon tehokkaampaa. (3erp.)

Imupöydissä on myös omat haittansa. Imupöytä soveltuu parhaiten tasaisille kappaleille, koska eri muotoiset osat vaativat ylimääräistä valmistelua. Pienillä kappaleilla ei myöskään ole välttämättä tarpeeksi pinta-alaa kiinni pysymiseen. Imupöydillä on erittäin nopea kappaleen asetus aika. Useimmiten tyhjiöpöydät soveltuvat vain yksinkertaisille, tasaisille kappaleille. (3erp.)

Magneettiset pöydät

Magneettiset pöydät hyödyntävät magneettisella pohjalla olevaa alustaa. Menetelmää voidaan hyödyntää magneettisien kappaleiden kiinni pitämiseen. Magneettipöydät ovat suosittu ratkaisu muotinvalmistusteollisuudessa, koska suurin osa muottionteloista on valmistettu teräksestä. Niitä käytetään kuitenkin myös terästyökappaleissa yleisissä CNC-koneistuksissa. (3erp.)

Magneettiset pöydät ovat useimmiten sähkömagneettisia, joten magneetin voima pystytään pysäyttämään työstön ollessa valmis. Magneettipöydät mahdollistavat nopean asetuksen, koska fyysisiä kiinnittimiä tai muita laitteita ei tarvita ja ne mahdollistavat erinomaisen pääsyn koneistettavaan kappaleeseen. Lisäksi ne soveltuvat kevyeen sekä raskaaseen koneistukseen. Magneettiset pöydät mahdollistavat täydellisen leikkausmahdollisuuden eli työstettävästä kappaleesta jää työstämättä pinta, joka on pöytää vasten. Lisäksi kappaleet voidaan asettaa nopeasti. Ne ovat myös erittäin turvallisia. Magneettisia pöytiä voidaan käyttää vain magneettisiin metalleihin, mikä rajoittaa niiden käyttöä etenkin alumiinia, ja useimpia ruostumattomia teräksiä käyttävällä valmistusalueella. (3erp.)

Mukautetut jigit

Suuria kappaleita jysyttäessä eivät kuitenkaan tavalliset kiinnitystavat ole riittäviä. Silloin joudutaan valmistamaan räätälöityjä jigejä kappaleiden kiinni pitämiseksi. (3erp.)

Jigikiinnityksellä pystytään parantamaan huomattavasti kappaleiden laatua, mutta ne ovat välttämättömiä vain, jos tarvitaan täydellistä liikkumattomuutta. Kappale asetetaan jigiin ja pidetään yhdellä tai kahdella pikakiinnikkeellä paikallaan. (3erp.)

Mukautetut jigit pystytään räätälöimään todella suurille tai epäsäännöllisille kappaleille, mikä lyhentää asetusajoja ja takaa kiinni pysymisen. Mukautetut jigit pidentävät läpimeno-aikoja, lisäävät kustannuksia eivätkä sovi muille kappaleille. (3erp.)

Nollapistekiinnitys

Nollapistekiinnitysjärjestelmillä on kaksi toimintoa. Niitä käytetään kiinnityksiin sekä ase-mointiin. Nollapistekiinnitysjärjestelmät perustuvat kiinnitysmoduuleihin, jotka on integroitu joko konepöytään tai pikakiinnityslevyihin. Kun nämä moduulit on kohdistettu ja kiinnitetty paikoilleen, koneen vertailupiste on määritelty. Moduuleja käytetään sitten työkappaleen alustojen, kiinnityselementtien tai työkappaleiden kiinnittämiseen suoraan yhdellä tai useammalla kiinnitystapilla. (Greif.)

Yksi nollapistekiinnitysjärjestelmien etu on, että ne ovat joustavia, koska kiinnitysjärjestelmä toimii järjestelmästä riippumatta. Ulkoisella kokoonpanolla on positiivinen vaikutus tuottavuuteen, koska se ei vie tuotantoaikaa. Kutsutaan asetusajan säästämiseksi, vaikka todellisuudessa saadaan koneen käyntiaikoja kasvatettua. Muita tärkeitä etuja ovat kiinnityksen toistettavuus, kiinnityksestä saatava ajansäästö, kiinnityksen tarkka sijoittelu mikrometriin saakka sekä kiinnittämisen nopeudesta saatavat kustannussäästöt. Tapit kiinnittyvät jopa 52 kilonewtonin voimalla. (Greif.)

Käyttämällä nollapistekiinnitysjärjestelmää voidaan koneen työstäessä tehdä uuden kappaleen asetusta erillisellä työpisteellä. Kiinnitysjärjestelmää voidaan käyttää hydraulisesti, pneumaattisesti, mekaanisesti tai sähköisesti. (Greif.)

Nollapistekiinnittimet mahdollistavat tarkan ja turvallisen kiinnityksen moniin erilaisiin sovel-luksiin kuten sorvaukseen ja jysyntään. Työkappale voidaan kiinnittää suoraan, jos kappaleessa on tarvittavat kiinnitysreiät. Tarjolla on erilaisia moduulisarjoja, tornikiinnikkeitä sekä paljon muita kombinaatioita. Valikoimat laajenevat jatkuvasti. (Greif.)

Järjestelmillä voidaan suorittaa aktiivisen asennuksen tasotukeen, mikä vaimentaa merkittävästi värähtelyjä ja tärinää, mikä lisää työkappaleiden laatua ja käytettyjen työkalujen käyttöikää. (Greif.)

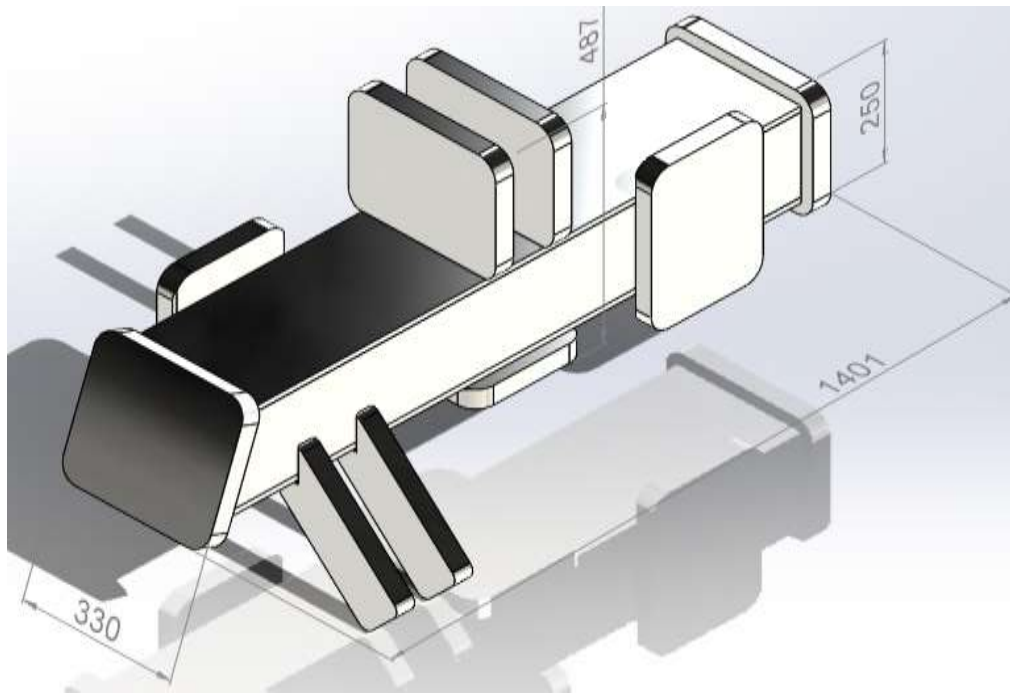
4 Tutkimustyö

4.1 Perustaa

Työ aloitettiin tutustumalla tarjolla oleviin 3D-skannaus laitteisiin sekä niiden ominaisuuksiin. Lisäksi etsittiin eri 3D-skannaus laitteiden mahdollisia toimittajia. Laitetoimittajille lähetettiin tarjouskyselyitä tärkeiksi arvioiduilla ominaisuuksilla ja huomioonotettavilla asioilla. Samanaikaisesti suunniteltiin testiskannauksessa käytettävää koekappaletta. Koekappaletta käytetään 3D-skannereiden testauksessa. Lisäksi koekappaleella on tarkoitus tehdä aikavertailu asetusajan sekä työstövarojen tarkastuksien tekemiseen työstökoneella. Aikaa voidaan verrata 3D-skannerin avustuksella tehtyyn asetus- ja työvarojen tarkastusaikaan. Näiden aikojen perusteella saadaan käsitys työstökoneelle saatavasta ajansäästöstä. Tämän ajan perusteella saadaan laskettua takaisinmaksuaika tarvittavalle laitteistolle. Lisäksi saadaan laskettua työstökoneelle uusi vuosikapasiteetti.

4.2 Koekappale

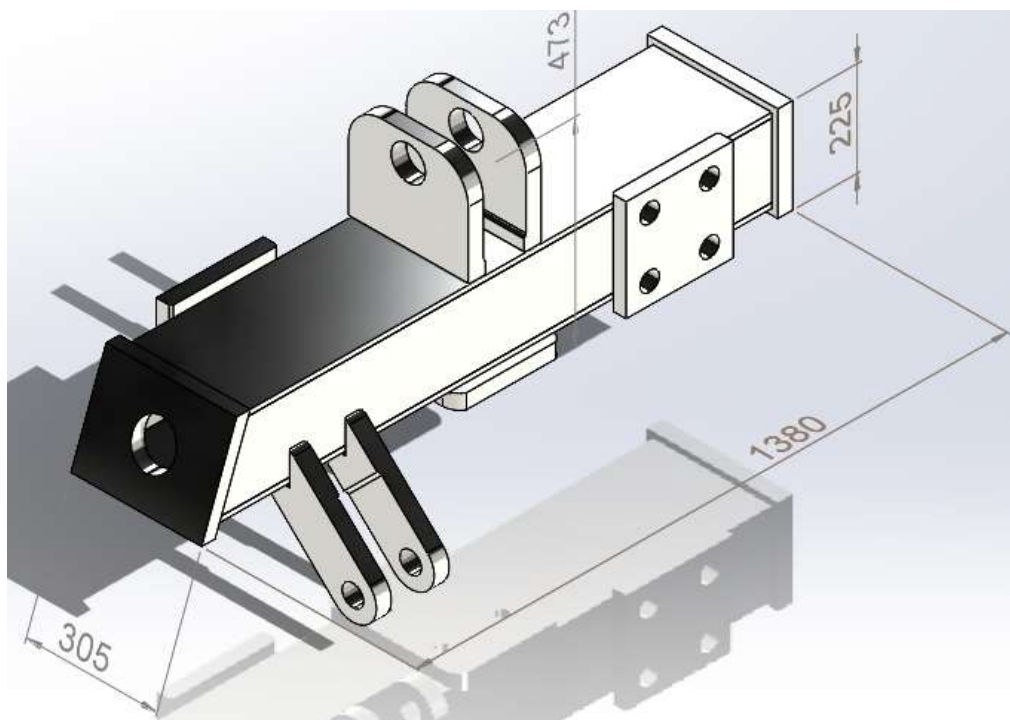
Koekappaleen valmistuspiirustukset esitetään liitteessä 1. Koekappaleeseen on koottu tyyppillisiä piirteitä, jotka mahdollisesti aiheuttavat virheitä tai ongelmia asetustyötä tehdessä. Valmistuspiirustuksista ilmenee kokoonpanopiirustukset, jossa on merkitty vaaditut hitsaukset. Myös koekappaleesta on koneistuspiirustus mitta- ja geometristen toleranssien osalta, vaikka koekappaletta ei olekaan tarkoitus koneistaa. Koneistuspiirustusta on tarkoitus käyttää asetusajan mittaamiseen. Kuvassa 1 on esitetty Solidworks-ohjelmistolla mallinnettu kokoonpano valmistettavasta koekappaleesta hitsattuna. Tätä mallia voidaan verrata levytöiden jälkeen 3D-skannattuun malliin, jotta voimme havaita hitsauksista aiheutuneita muodonmuutoksia.



Kuva 1. Solidworks-ohjelmalla mallinnettu koekappale hitsattuna

Kuvassa on esitetty koekappaleesta joitakin äärimittoja, joista selviää koekappaleen todellinen koko.

Kuvassa 2 on esitetty Solidworks-ohjelmistolla mallinnettu kokoonpano valmistettavasta koekappaleesta koneistettuna. Tätä mallia voidaan hyödyntää työvarojen tarkastelussa sekä asetteen teossa.

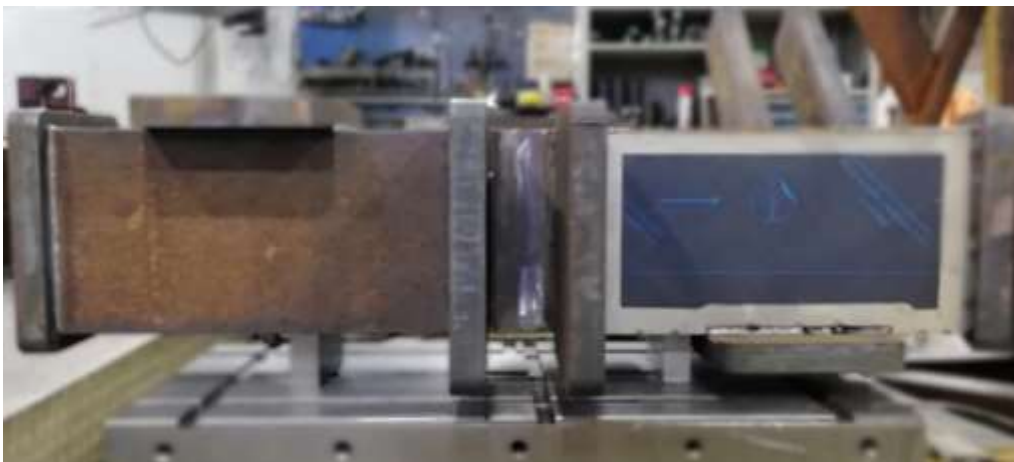


Kuva 2. Solidworks-ohjelmalla mallinnettu koekappale koneistettuna

Kuvissa 3–6 koekappale on valmistettuna. Koekappale on aseteltu 3D-skannausta sekä asetuksen ja kiinnityksen tekoa helpottavalle apupöydälle. Koekappale on asetettu toiselle kyljelle, jotta mahdollisimman monta pintaa saataisiin koneistettua ensimmäisellä kiinnityksellä.



Kuva 3. Koekappale



Kuva 4. Koekappale päältä



Kuva 5. Koekappale alapuolelta



Kuva 6. Koekappale sivusta

Kun koekappale asetetaan kyljelleen, saadaan koneistettua molemmat päädyt kokonaisuudessaan, yläkorvallisten muodot ja reiät sekä välisovite, alakorvallisten ulkomuodot ja välisovite, pohjassa olevan levyn pinta, ulkoreunat sekä rei'itys, samalla kiinnityksellä. Tämän jälkeen koekappale joudutaan irrottamaan ja asettamaan eri asentoon, jotta saataisiin koneistettua kaikki loput pinnat, levyn ulkomuodot sekä rei'itykset.

Koekappale vuorattiin ruostumattomalla teräslevyllä valmistuskuvista poiketen, koska voitiin analysoida vuorauksien vaikutusta 3D-skannaukseen. Koko kappaletta ei vuorattu, koska se ei ollut tarpeellista ja samalla säästettiin koekappaleen kokoonpanossa tarvittavaa valmistusaikaa.

4.3 Tarjottujen 3D-skannereiden ominaisuuksien vertailu

Valmistajien ja laitetoimittajien materiaaliin tutustumisen jälkeen kerättiin mahdolliset laite-toimittajat, jonka perusteella lähetettiin tarjouspyyntöjä yhteensä yhdeksään yritykseen. Puhelin- tai sähköpostikeskustelujen perusteella selvitettiin tarkempia tietoja laitteistoista sekä koeskannauksen suorittamisesta. Tarjoukset saatiin yhteensä kahdeksasta erilaisesta 3D-skannerista sekä kahdesta nivelvarsimittalaitteesta. Taulukossa 1 ja 2 on tarjottujen 3D-skannereiden sekä nivelvarsimittalaitteiden vertailu ominaisuuksien perusteella.

Valmistaja	Artec	Creaform	Creaform	Creaform	Creaform
Malli	LEO	MetraSCAN Black Elite + HandyPROBE Next Elite	MetraSCAN Black + HandyPROBE Next	MetraSCAN 357 + HandyPROBE Next	Metra-SCAN 750 + HandyPROBE Next
Nopeus PISTETTÄ/s (miljoonaa)	3	1,8	0,8	0,48	0,48
Hinta (pistettä)	4	10	9	8	6
Toimintaperiaate	Structuroituvalo (kolmiomittaus)	Sininen laser (kolmiomittaus)	Punainen laser (kolmiomittaus)	Punainen laser (kolmiomittaus)	Punainen laser (kolmiomittaus)
Referenssiajo	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Kohdistustarvojen tarve	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Tarkkuus (mm)	0,2	0,025	0,035	0,04	0,03
Tilavuuden mittaustarkkuus (9.1m³)		0,064	0,086	0,086	0,064
Skannausresoluution tarkkuus (mm)	0,1	0,025	0,025	0,1	0,064
Maksimi resoluutio (mm)	0,2	0,1	0,1	0,2	0,05
Laitteen massa (kg)	2,6	1,49	1,49	1,38	1,38
Skannausalue läheltä (mm)	246x153	310x350	310x350	275x250	275x250
Skannausalue kaukaa (mm)	843x527				

Taulukko 1. Laittevertailu

Valmistaja	Creaform	Kreon	Kreon	Scantech	Shining3D
Malli	HandySCAN BLACK Elite	Ace+ (3m)	Ace (3m)	KSCAN20	EinScan HX 3D
Nopeus PISTETTÄ/s (miljoonaa)	1,3			0,65	0,48
Hinta (pistettä)	7	4	4	6	1
Toimintaperiaate	Sininen laser (kolmiomittaus)	Kosketinan-turi	Kosketinan-turi	Punainen laser (kolmiomittaus)	Sininen laser (kolmiomittaus)
Referenssiajo	Kyllä	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä
Kohdistustar- rojen tarve	Kyllä	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä
Tarkkuus (mm)	0,025	0,03	0,03	0,02	0,04
Tilavuuden mittaustark- kuus (9.1m³)					
Skannausre- soluution tark- kuus (mm)	0,025				0,05
Maksimi reso- luutio (mm)	0,1				
Laitteen massa (kg)	0,94	11	11	0,95	0,71
Skannausalue läheltä (mm)	310x350			250x300	380x400
Skannausalue kaukaa (mm)					

Taulukko 2. Laitevertailu

Taulukossa 1 ja 2 on vertailtu 3D-skannereiden ja nivelfarsimittalaitteiden ominaisuuksia. Laitteiden ominaisuuksien tiedot ovat haettu laitevalmistajan internetsivuilta. Vertailun hin- nat on saatu laitetoimittajien sähköpostitarjouksista ja ne ovat suhteutettuja 1–10 pistee- seen. Yksi tarkoittaa hinnaltaan halvinta ja kymmenen tarkoittaa kalleinta kokonaisuutta.

Taulukossa 3 on esitetty taulukoiden 4 ja 5 pisteityspäriaate.

Pisteet	Mittausnopeus pistettä/s (miljoonaa)	Hinta (pistettä)	Toimintaperiaate	Käyttö	Tietokone	Referenssija	Kohdistustarvojen tarve	Tarkkuus (mm)	Skannausresoluution tarkkuus (mm)	Maksimi resoluutio (mm)	Laitteen massa (kg)	Skannaus pinta-ala läheltä (mm²)
3	Yli 1	Alle 6	Laser- valo	Langan- ton	Ei tarvitse	Ei tarvitse	Ei Tarvitse	Alle 0,03	Alle 0,03	Alle 0,1	Alle 1	Yli 100
2	0,5–1	6–8	Struc- turoitu- valo					0,03 – 0,05	0,03– 0,05	0,1– 0,2	1–2	50– 100
1	Alle 0,5	Yli 8	Koske- tinan- turi	Lan- galli- nen	Tarvit- see	Tarvit- see	Tar- vit- see	Yli 0,05	Yli 0,05	Yli 0,2	Yli 2	Alle 50

Taulukko 3. Laitevertailun pisteityseriaate

Taulukossa 4 ja 5 on vertailtu tarjottujen 3D-skannereiden sekä nivelvarsimittalaitteiden ominaisuuksia pisteitysmenetelmällä.

Valmistaja	Artec	Creaform	Creaform	Creaform	Creaform
Malli	LEO	MetraSCAN Black Elite + HandyPROBE Next Elite	MetraSCAN Black + HandyPROBE Next	MetraSCAN 357 + HandyPROBE Next	MetraSCAN 750 + HandyPROBE Next
Mittausnopeus PISTETTÄ/s (miljoonaa)	3	3	2	1	1
Hinta (pistettä)	3	1	1	2	2
Toimintaperi- aate	2	3	3	3	3
Käyttö	3	1	1	1	1
Tietokone	3	1	1	1	1
Referenssija	3	3	3	3	3
Kohdistustarro- jen terve	3	3	3	3	3
Tarkkuus (mm)	1	3	2	2	2
Skannausre- soluution tark- kuus (mm)	1	3	3	2	1
Maksimi reso- luutio (mm)	2	2	2	2	3
Laitteen massa (kg)	1	2	2	2	2
Skannausalue läheltä (mm)	1	3	3	2	2
Skannausalue kaukaa (mm)	3				
Yhteispisteet	2,23	2,33	2,17	2,00	2,00

Taulukko 4. Laitevertailu pisteitettynä

Valmistaja	Creaform	Kreon	Kreon	Scantech	Shining3D
Malli	HandySCAN BLACK Elite	Ace+ (3m)	Ace (6m)	KSCAN20	EinScan HX 3D
Nopeus PISTETTÄ/s (miljoonaa)	3	1	1	2	1
Hinta (pistettä)	2	3	3	2	3
Toimintaperiaate	3	1	1	3	3
Käyttö	1	1	1	1	1
Tietokone	1	1	1	1	1
Referenssiajo	1			1	1
Kohdistustarrojen tarve	1	3	3	1	1
Tarkkuus (mm)	3	2	2	3	2
Skannausresoluution tarkkuus (mm)	3				2
Maksimi resoluutio (mm)	2			3	
Laitteen massa (kg)	3	3	3	3	3
Skannausalue läheltä (mm)	3			2	3
Skannausalue kaukaa (mm)					
Yhteispisteet	2,17	1,88	1,88	2,00	1,91

Taulukko 5. Laitevertailu pisteitettynä

Tyhjät sarakkeet tarkoittavat, että tietoa ei ollut saatavilla. Yhteispisteet on laskettu huomioon otettujen sarakkeiden yhteispistemäärällä, joka on jaettu sarakkeiden määrällä, josta saadaan tuloksen keskiarvo. Tyhjiä sarakkeita ei ole otettu huomioon ollenkaan keskiarvolaskennassa, koska ne vääristäisivät liian paljon tulosta.

4.4 Työssä käytetyt 3D-skannerit

Koekappaleen koeskannaukseen saatiin kolme erityyppistä 3D-skanneria.

Creaformin Metrascan Black Elite

Creaform Metrascan Black Elite on Creaformin uuden sukupolven CMM 3D-skanneri, joka hyödyntää sinistä laservaloa skannauksessa. Skannerin toiminta perustuu kannettavaan koordinaatiomittaukseen, joka hyödyntää laseria ja kolmiomittausmenetelmää. Skannerin mittaustarkkuus säilyy ympäristön häiriötekijöistä huolimatta. Skanneri on edeltäjiinsä tarkempi ja nopeampi. Laadunvalvonnan ja käänteisensuunnittelun mittaukset voidaan suorittaa lähes missä tahansa. (MLT-Finland a.)

Skannerilla saadaan myös onnistumaan kiiltävien ja mustien pintojen skannaus helposti ja nopeasti tekemällä jopa 1,8 miljoonaa mittauspistettä sekunnissa. Järjestelmää pystytään hyödyntämään geometriseen laadunvarmistusmittaukseen sekä käänteiseen mallin luontiin. Käyttökohde esimerkkejä ovat tuotannossa käytettävien työkalujen, jigien, osakokoonpanojen ja kappaleiden mittaustarkastukset. Skannerin 16,6 kuutiometrin mittaustilavuus tarjoaa myös suurien kappaleiden skannaukset. Mittaustilavuutta pystytään suurentamaan helposti liikuttamalla mitattavana olevaa kappaletta tai vaihtoehtoisesti siirtämällä C-track kamerayksikköä. Creaformin patentoiman menetelmän avulla järjestelmä kykenee paikantamaan itsensä automaattisesti. Mitattavat kappaleet ovat yleisesti 0,2–6 metrin kokoisia sekä mittaustarkkuuden ollessa 0,025 millimetriä. Optinen mittaustekniikka tarjoaa tarkan mittaustarkkuuden myös konepaja- ja tuotanto-olosuhteissa. (MLT-Finland a.)

Kuvassa 7 sekä 8 on esitetty Creaform Metrascan Black Elite toimitukseen kuuluvien kahden salkun sisältöjä.



Kuva 7. Creaform Metrascan salkku yksi

Sisältöön kuuluu HandyPROBE ja siihen liittyvät tarvikkeet, C-Track Elite kamerapuomi ja-lustalla, tähysmagneettisarja sekä referenssiajoon vaadittavat tarvikkeet. Creaformin Met-rascan C-Track Elite on kamerapuomi, joka paikoittaa itse skannauspään sijainnin, liikkeen sekä suunnat.



Kuva 8. Creaform Metrascan salkku kaksi

Skannerissa on heijastuspisteitä eri suuntiin C-Track kamerapuomin havaitsemisen ja paikoituksen vuoksi. 3D-skanneri lähettää sinistä laservaloa kappaleeseen, jonka ansiosta saadaan tallennettua kappaleen mitat sekä muodot tietokoneelle. Lisäksi sisältöön kuuluu skanneripään referenssiajoon tarvittava mittaustaulu.

Näiden laitteiden lisäksi tarvitaan vielä tehokas tietokone, jotta laitteisto saadaan toimimaan. Tietokoneen ruudulta voidaan tarkastella skannausta reaaliajassa ja skannattu 3D-malli tallennetaan tietokoneelle.

Handyscan Black Elite

Creaform Handyscan Black Elite on Creaformin kolmannen sukupolven metrologialuokan 3D-käsiskanneri, joka hyödyntää sinistä laservaloa skannauksessa. Skannerin toiminta perustuu laserkolmiomittaukseen. Salkun sisältö on esitetty kuvassa 9. Näiden laitteiden lisäksi tarvitaan tehokas tietokone, josta voidaan tarkastella skannausta reaaliajassa ja sinne tallennetaan myös tehty skannaus. (MLT-Finland b.)

Skanneri on nopea sekä monipuolinen kädessä pidettävä 3D-skanneri. Skanneri kykenee saavuttamaan tarkkoja ja toistettavia mittaustuloksia sekä monimuotoisista että vaativista kappaleista. Sen etuihin kuuluu muun muassa edeltäjäänsä suurempi mittaustarkkuus,

parempi mittausrésoluutio, suurempi mittausalue ja luotettavat sekä nopeat mittaukset. Skanneri on viimeistelty suunnittelun, valmistuksen, laaduntarkkailun ja metrologian ammattilaisten tarpeet huomioiden. Skanneri on tehokas ja luotettava väline saada tarkkoja 3D-mittauksia olemassa olevista kappaleista sekä kohteista missä tahansa. Se on lisäksi helppokäyttöinen ja kykenee tuottamaan tarkkoja ja toistettavia tuloksia hankalissakin paikoissa. Monimuotoiset ja vaativat pinnat, esimerkiksi kiiltävät sekä mustat, eivät tuota sille ongelmia. Skanneri kykenee toimimaan osana tuotantoprosessia, ilman ylimääräisiä häiriöitä tuotannolle. Se mahdollistaa tarkat sekä toistettavat mittaukset ympäristöstä ja käyttäjästä riippumatta ja soveltuu hyvin sekä isoille että pienille kappaleille että tarkoilta yksityiskohdille. Skannerin resoluutio on jopa 0,025 millimetriä ja mittaustarkkuus 0,025 millimetriä. Laitteella on helppokäyttöinen käyttöliittymä ja se on muotoiltu ergonomiseksi. Lisäksi skanneri on pieni ja kevyt käyttää. Mittausnopeus skannerille on 1 300 000 mittausta sekunnissa mittaustarkkuuden ollessa 0,025 millimetriä. (MLT-Finland b.)



Kuva 9. Handyscan Black Elite

Artec Leo

Artec Leo on Artecin viimeisin markkinoille tullut skannerimalli. Artec Leo -skanneri perustuu strukturoituun valoon. Laite hyödyntää valkoista valoa ja kolmiomittausmenetelmää. Kuvassa 10 on esitetty Artec Leo -skannerin salkkuun kuuluva kokonaisuus. Ainoastaan skannausten yhdistämiseen sekä analysointiin tarvitaan erillinen tietokone.

Artec Leo 3D -skannerilla skannaaminen on erittäin helppoa. Skannerissa on paljon toimintoja. Skannerin skannausdataa pystytään seuramaan suoraan laitteessa olevasta omasta kosketusnäytöstä samaan aikaan kun skannataan kohdetta. Skannausprosessointi suoritetaan laitteen sisäisellä tietokoneella. Tällä järjestelmällä saadaan vähennettyä työtä sekä nopeutetaan skannausta. Artec Leolla skannaus on kuin kuvattaisiin videokameralla.

Kosketusnäytölle skannattu malli rakentuu reaaliajassa. Mallia voidaan liikuttaa ja tutkia suoraan ruudulta. Skannerista pystytään tarkastamaan välittömästi skannatut alueet ja onnistuivatko kuvat. Skanneri on myös johdoton. Artec Leo voidaan yhdistää langattomaan lähiverkkoon. (Aipworks.)



Kuva 10. Artec Leo

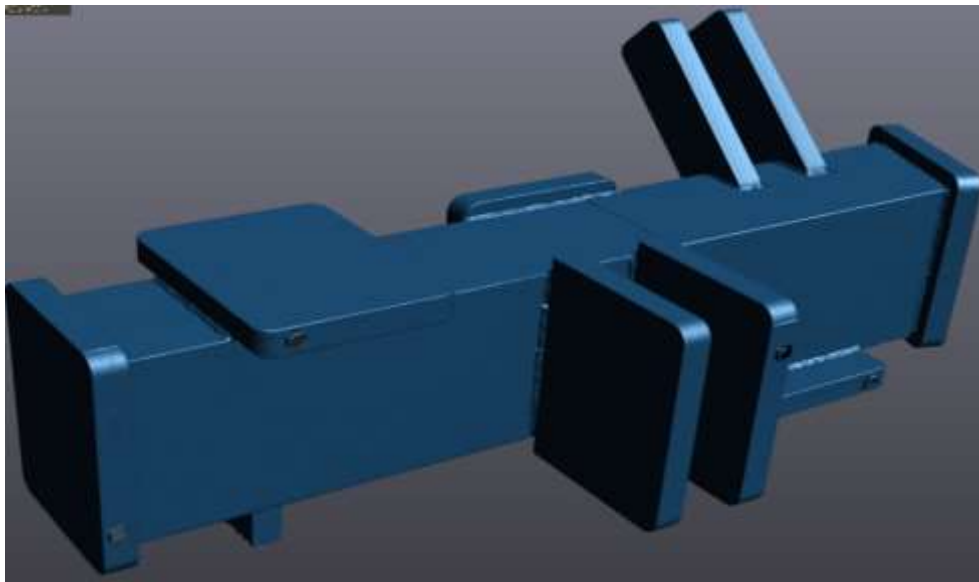
Artec Leo 3D -skannerin näytöstä voidaan seurata reaaliaikaisesti skannauksen edistymistä. Näyttöä voidaan tarvittaessa kääntää eri kulmaan. Kuvassa 11 on Artec Leo -skanneri edestä, jossa on valkoista valoa lähettävä yksikkö sekä kameran vastaanotinyksikkö.



Kuva 11. Artec Leo edestä

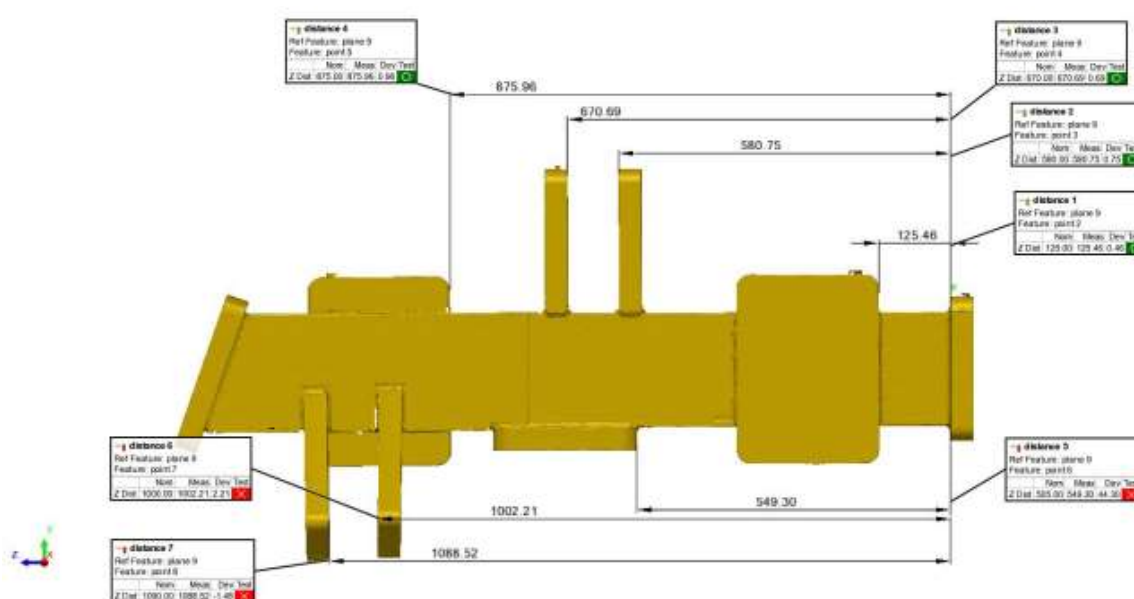
4.5 Koekappaleen 3D-skannaus ja vertailu CAD-malliin

Kuvassa 12 on esitetty skannattu 3D-malli koekappaleesta, joka on skannattu Creaform Metrascan Black Elitellä.



Kuva 12. Metrascanilla 3D-skannattuna koekappale

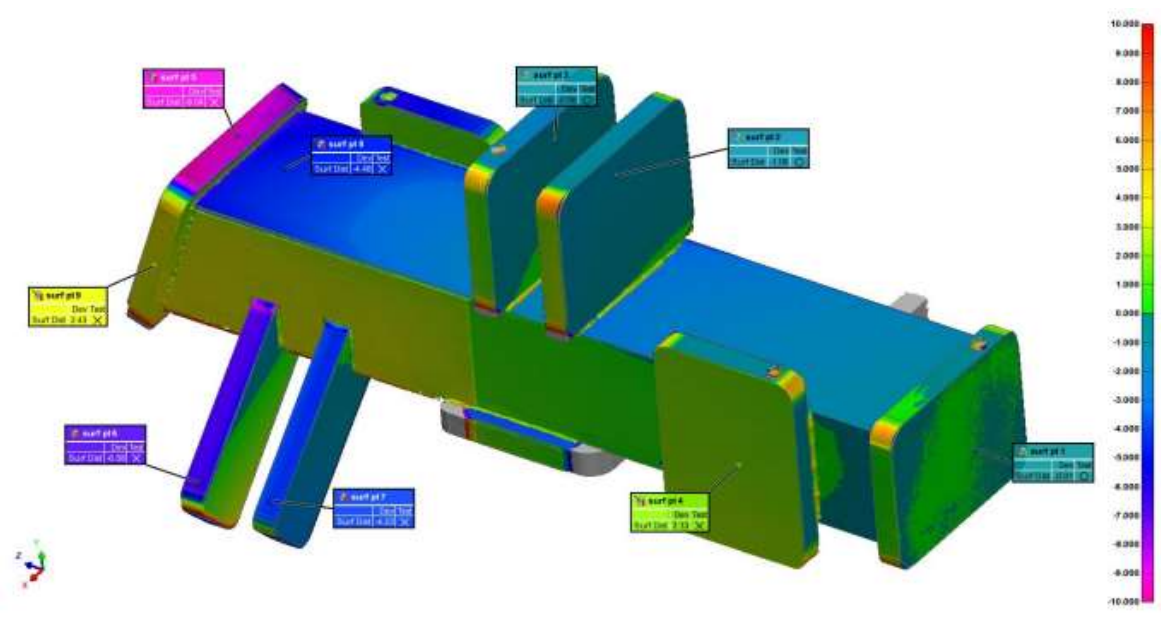
3D-Skannattua mallia voidaan verrata suoraan olemassa olevaan Solidworks-ohjelmalla mallinnettuun koekappaleeseen. Lisäksi esiteltyä 3D-skannattua mallia käytettiin kaikissa kappaleiden vertailussa olevissa mittaustarkasteluissa. 3D-skannatusta kappaleesta voidaan tarkastaa suoraan mittoja skannerin omalla ohjelmistolla. Kuvassa 13 on 3D-skannattuna työssä käytettävä koekappale sekä kokoonpanon jälkeen toteutuneet mitat.



Kuva 13. Mittaustarkastelu

Kuvasta voidaan todeta, että alapuolen levy on 549,30 millimetrin päässä mitatusta kohdasta. Lappu on siis virheellisesti asennettu. Liitteen 1 valmistuskuvien perusteella mitan pitäisi olla 505 millimetriä.

Solidworks-ohjelmistolla suunniteltua koekappaleen mallia sekä 3D-skannattua koekappaletta voidaan myös verrata toisiinsa lisäohjelman avulla. Kuvassa 14 on verrattu 3D-skannausta sekä Solidworks-ohjelmalla toteutettua mallia. Mitta-asteikkoa voidaan muuttaa halutuille eroille ja näin voidaan nähdä suoraan eri väreillä verrattujen kappaleiden mittojen erot.

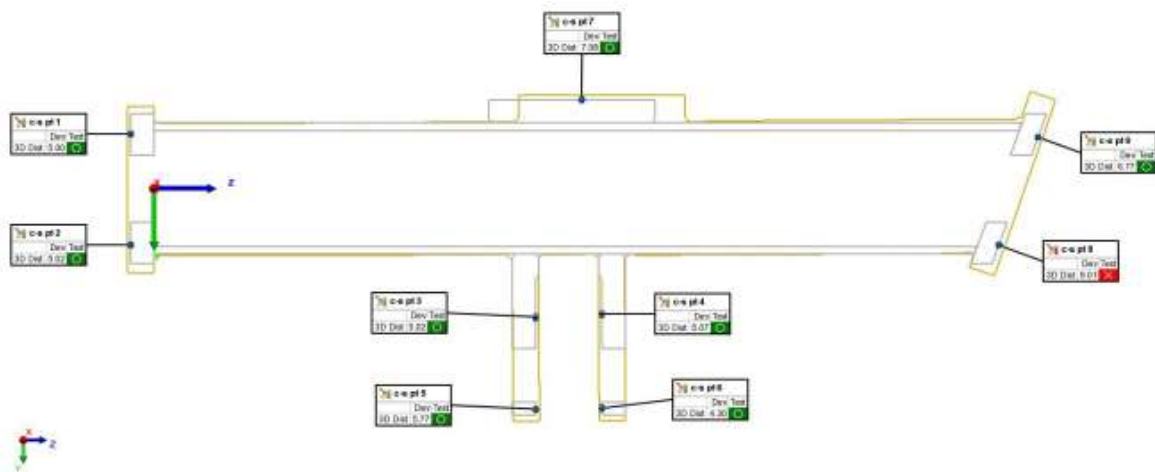


Kuva 14. Vertailu värejä apuna käyttäen

Malleja tarkasteltaessa voidaan todeta suoraan, että testikappaleeseen on alapuolen lappu hitsattu eri paikkaan, mitä on suunniteltu. Tämä voidaan todeta suoraan lapun harmaista reunoista, joka tarkoittaa määritellyn mitta-asteikon maksimi-arvon ylitystä.

3D-skannattua mallia voidaan verrata sekä hitsattuun että koneistettuun malliin ja vertailla suoraan saadaanko vaaditut kriteerit kappaleen koneistuksen osalta toteutettua.

Kuvassa 15 on esitetty poikkileikkaustarkastelu 3D-skannatusta testikappaleesta, joka on piirretty kuvaan keltaisella värillä, sekä koneistetusta mallista, joka on piirretty harmaalla värillä.



Kuva 15. Poikkileikkaustarkastelu

Tässä tarkastelussa pystytään toteamaan koekappaleessa yläpuolella olevan lapun virheelinen paikka. Keltaisella viivalla piirretty 3D-skannattu koekappale ei pysy koko matkalla harmaalla piirretyn mallin ulkopuolella.

4.6 Asetusaika ja asetuspaikka

Koekappaleen teoreettinen asetus- sekä koneistusaika saatiin tarjouslaskennassa käytävästä laskentaohjelmasta. Laskennassa huomioidaan kappaleen eri työstövaiheet työkaluineen, kappaleen mahdolliset käännöt, nollapisteiden- ja työvarojentarkastukset sekä asetteenteko. Laskennasta saatua koneistusaikaa käytettiin suoraan aikana, jonka koekappaleen koneistus kestäisi. Koekappaleen valmistusajaksi saatiin noin 27 tuntia. Koneistusaika sisältää yhteensä kahdeksan tuntia asetuksientekoon ja kappalekääntöihin käytettävää aikaa. Kahdeksasta tunnista kaksi tuntia on laskettu ensimmäiselle asetuksenteolle, jossa tarkastellaan myös työvarat ja nollapistet. (Suominen 2021.)

Tietojen perusteella saataisiin valmistettua viikossa noin neljä ja puoli koekappaleen kaltaista kappaletta, mikäli työstökoneetta käytettäisiin kolmessa vuorossa viitenä päivänä viikossa. Tällöin viikossa menee ensimmäisten asetuksientekoon yhteensä aikaa noin yhdeksän tuntia. Tällä laskukaavalla voidaan laskea, kuinka monta kappaletta valmistuu kuukaudessa tai vuodessa. Tämän avulla saadaan teoreettinen määrä valmistuville kappaleille. Lisäksi saadaan laskettua työstökoneella säästetty aika, mikäli muutos toteutettaisiin.

Mikäli saadaan säästettyä koko ensimmäiseen asetuksientekoon laskettu kahden tunnin aika, niin silloin vuodessa työstökoneen kapasiteettia voitaisiin nostaa teoreettisesti yhteensä noin 460 tuntia, mikä olisi erittäin merkittävä parannus. Kapasiteetin nosto tarkoittaisi yli 57 työvuoron lisäystä vuodessa. Näin ollen voitaisiin ottaa yhdelle työstökoneelle kuukaudessa 38 tuntia enemmän työtä.

Koekappaleelle tehtiin lisäksi koneenkäyttäjien toimesta koeasetus, jotta saatiin vertailuaika asetuksentekoon. Lisäksi nähtiin mikä on koekappaleelle laskennan ja todellisen asetusajan välinen erotus. Koekappaleen todelliseksi asetusajaksi saatiin mitattua kolme tuntia, joka on tunnin enemmän kuin laskennassa käytetty aika. Tämä tarkoittaa, että koekappaleen valmistamiseen menee todellisten laskelmien perusteella yhteensä noin 28 tuntia. Valmistuvien kappaleiden määrä viikossa laskee näin ollen noin neljään kappaleeseen. Ensimmäisten asetuksientekoon menee aikaa yhteensä noin kolmetoista tuntia viikossa. Viikossa tehtyjen asetuksientekojen erotukseksi saatiin neljä tuntia.

Tämä mitattu kolmen tunnin asetus aika voidaan muuttaa lähes kokonaisuudessaan koneen laskennassa käytettävänä kapasiteetin nostona ja kilpailukykyyn parantamisena.

Koekappaleella tehtyjen todellisten laskelmien perusteella saataisiin työstökoneen kapasiteettia nostettua vuodessa yhteensä 665 tuntia, joka on erittäin merkittävä parannus. Näin ollen todellisuudessa voitaisiin ottaa työstökoneelle kuukaudessa 55 tuntia enemmän työtä. Todellisen ja teoreettisen laskennan erotukseksi saadaan kuukaudessa noin 17 tuntia, joka on merkittävä ero laskennan ja todellisuuden välillä.

3D-skannauksen ja asetteentekoon on varattava noin 26 neliömetrin kokoinen alue. Tälle alueelle saadaan mahdutettua tarvittavat apupöydät, joita tarvitaan kappaleiden asetteenteossa, 3D-skannauslaitteisto, kiinnitystarvikkeet sekä tarvittavat työkalujen säilyttämiseen vaadittavat kaapistot ja työtasot. Asetteenteko pöytien välille, sivuille ja pätyihin on laskennassa jätetty 1000 millimetrin työskentelyalue. Tilantarve on laskettu kolmea asetteentekopöytää varten.

5 Pohdinta

Creaform Metrascan Black Eliten etuja on sen mittatarkkuus ja mittauksen toistotarkkuus, laitteen käsiteltävyys sekä keveys. Mittausympäristön epävakaas, värinä tai lämpövaihtelut eivät vaikuta mittaustuloksiin. Lisäksi skannaus alueen laajennus onnistuu helposti menettämättä mittaustarkkuutta. Skannerin automaattinen kohdistus kappaleeseen. Skannattavaa kappaletta voidaan liikuttaa kesken skannauksen käyttämällä magneettisia kohdistuspisteitä tai kohdistuspistetarroja. Laitteistoon voidaan liittää HandyPROBE-kosketusmittalaite mittatarkkuuden parantamiseksi ilman erillisiä lisälaitteita. Skannerin kalibrointi suoritetaan vain satunnaisesti eikä vie montaa minuuttia aikaa.

Huonoja puolia skannerille on sen korkea hinta ja johdollinen toiminta. Pallomainen skanneripää rajoittaa hieman ahtaiden välien skannausta. Skanneripäässä sijaitsee C-Track'in nähtävät skannaukselle tärkeät optiset heijastimet. Lisäksi vaatii toimiakseen erillisen tietokoneen.

Creaform Handyscan Black Eliten hyviä puolia on sen mittauksen toistotarkkuus, laitteen käsiteltävyys, keveys, eikä tarvitse kuin skannerin liitettynä tietokoneeseen sekä se että kappaletta voidaan liikutella kesken skannauksen.

Huonoja puolia ovat skannerin vaatimat kohdistuspistetarrat, joita joutuu laittamaan suhteellisen paljon kappaleeseen sekä laitteeseen kytkettävät johdot. Lisäksi skanneri vaatii toimiakseen tehokkaan tietokoneen, sekä referenssiajo täytyy tehdä aina laitetta käyttöön otettaessa.

Artec Leon hyviä puolia on sen langaton toiminta ja laitteen käsiteltävyys. Hyvä ominaisuus on laitteessa itsessään oleva näyttö, josta näkee skannauksen edistymisen. Leo ei tarvitse kohdistuspistetarroja eikä kohdistuspistemagneetteja ollenkaan. Leo osaa jatkaa skannausta, kun vain jatkaa edellisen skannauksen päältä hieman. Leo ei myöskään tarvitse erikseen liitettävää tietokonetta. Leo on suhteellisen edullinen, eikä Leo tarvitse referenssiajoa.

Leo painaa huomattavasti enemmän kuin kilpailijansa. Skannauksen mittatarkkuudeksi kerrotaan valmistajan esitteessä 0,1 millimetriä, mutta tätä tarkkuutta valmistaja ei täysin pysty lupaamaan mittausta paikan olosuhteiden vuoksi.

Ominaisuuksien pistevertailuun otettujen kriteerien perusteella Creaform Metrascan Black Elite sai korkeimman pistekeskiarvon ja tästä syystä ainakin teoriassa soveltuisi parhaiten yrityksen käyttöön.

Työssä tehtyjen laskelmien mukaan 3D-skannauksen hyödyntäminen työvarojen tarkastelussa sekä asetteen tekemisessä toisi ajallisesti erittäin merkittäviä säästöjä yritykselle. Vuositasolla tarkasteltuna koekappaleen kaltaisilla kappaleilla pystyttäisiin nostamaan kapasiteettia huomattavasti, vaikka hyödynnettäisiin menetelmää ainoastaan yhdellä koneella asetteidenteossa. 3D-skannauksen suorittamiseen kuluva aika ei ole merkittävä kokonaisuuteen verrattuna.

Työtavan muuttamisen ansiosta voidaan myös laskea työstökoneen tuntihintaa, joka taas näkyy asiakkaillakin positiivisena muutoksena. Näin ollen tarjouskilpailuissa on suurempi mahdollisuus voittaa.

Levytöissä tapahtuvat virheet pystyttäisiin havaitsemaan ennen työstökoneelle tehtävää asetetta. Mikäli työvarojen riittämättömyys havaitaan vasta työstökoneella, saattaa kone sekä käyttäjä joutua odottamaan korjauksien teosta johtuvan ajan, joka voi olla useita tunteja.

Testikappaleessa olevan virheellisen lapun korjauksen takia työstökone saattaisi seisoa turhaan jopa kahdeksan tuntia. Virheiden ennalta havaitseminen nopeuttaisi kappaleiden korjaukseen vientiä, eikä tulisi turhia seisotusaikoja työstökoneelle.

Lisäksi 3D-skannauskella pystytään tekemään mittausraportit ennen osien lähettämistä asiakkaalle, sekä tarvittaessa näyttämään toteutuneet mitat koneistuksien jälkeen.

6 Yhteenveto

Tehtävänanto oli sekä erittäin mielenkiintoinen mutta haastava. Aikataulutukset onnistuivat hyvin, vaikka uutta asiaa ja uuden asian opettelua oli todella paljon.

3D-skannaus tulee varmasti lisääntymään merkittävästi tulevaisuudessa varsinkin laadunhallinnassa, koska perinteisillä mittausmenetelmillä on todella hankalaa ja hidasta todentaa monimuotoisten kappaleiden mittoja. 3D-skannaus antaa mahdollisuuden mitata monimuotoiset kappaleet todella nopeasti ja tarkasti. Lisäksi tarvittaessa saadaan suhteellisen helposti luotua asiakkaalle mittauspöytäkirja kriittisistä mitoista.

Työntuloksien kannalta olisi ollut toivottavaa, että olisi päästy tekemään koeskannauksia useamman laitetoimittajan 3D-skannereilla, ja olisi saatu enemmän kokemusta erilaisten 3D-skannerien hyvistä sekä huonoista puolista. Saatiin kuitenkin kaksi eri laitetoimittajaa käymään paikan päällä hyvin erilaisten 3D-skannerien kanssa koeskannaukset tekemässä. Tehtiin koeskannaukset kolmella erityyppisellä 3D-skannerilla. Koeskannattiin koekappaletta kaikilla kolmella 3D-skannerilla ja saatiin niistä käyttöön perustuvaa tietoa.

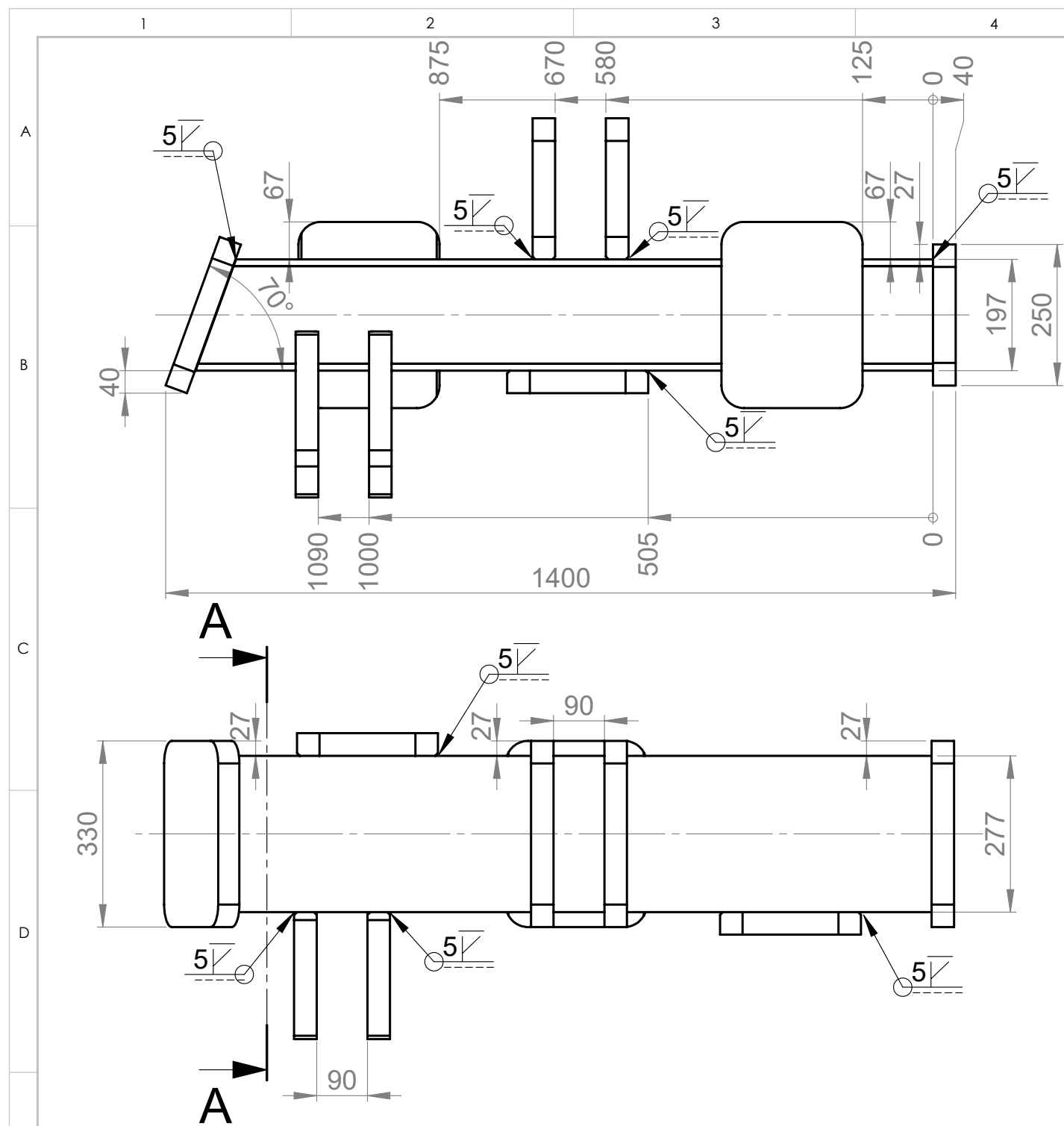
Näistä kahdesta 3D-skanneri toimittajista vain toinen suoriutui kiitettävästi ennalta vaadituista toimenpiteistä. Saatiin tehtyä koeskannauksen ja tulosten analysoinnin samalla keralla ilman ongelmia.

Työstä saatiin erittäin merkittävää tietoa yritykselle 3D-skannereiden hyödyntämisestä koneistettavien kappaleiden työvarojen tarkastelussa ja ajatuksia siitä mihin kaikkeen voitaisiin 3D-skanneria hyödyntää konepajalla.

Opinnäytetyön myötä uskon pääseväni 3D-skannuksen asiantuntijatehtäviin tulevaisuudessa. 3D-skannaus menetelmät sekä eri menetelmien edut ja haitat tulivat tutuiksi. Lisäksi sain paljon kokemusta piirustustenlukutaitoon, joka on hyvin tärkeää suunnittelijan työssä.

Lähteet

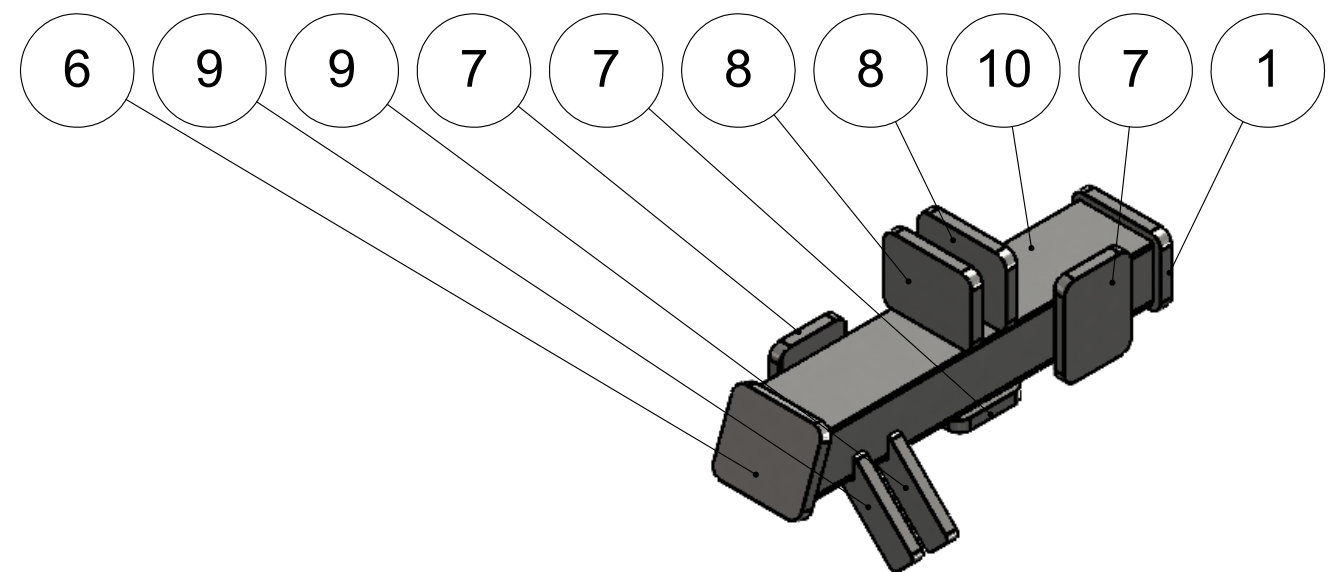
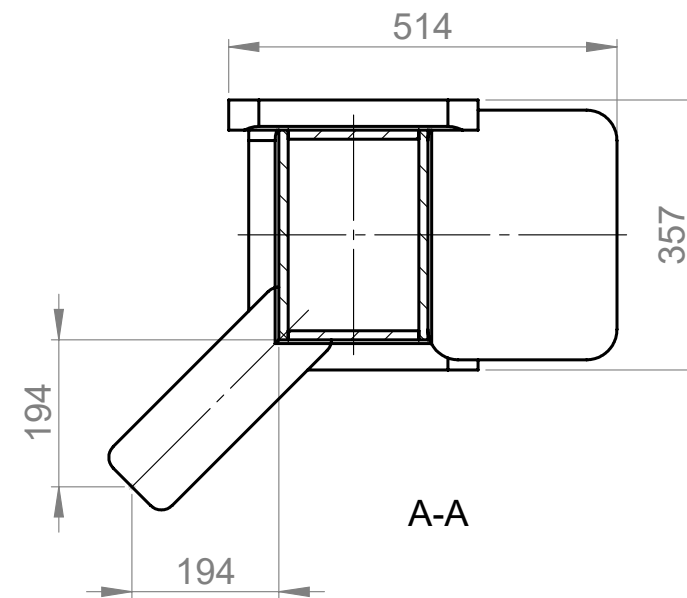
- Aaltonen, K., Andersson, P. & Kauppinen, V. 1997. Koneistustekniikat. Porvoo: WSOY.
- Ansaharju, T. & Maaranen, K. 1997. Koneistus. Porvoo: WSOY.
- Ansaharju, T., Ilomäki, O. & Maaranen, K. 1989. Lastuava työstö. Porvoo: WSOY.
- AIPworks. Artec Leo 3D-skanneri. Viitattu 16.4.2021. Saatavissa <https://aipworks.fi/3d-skannaus/artec-leo-3d-skanneri/>
- Edge3d.io. Scanning types applications advantages and methods. Viitattu 12.1.2021. Saatavissa <https://www.edge3d.io/what-3d-scanning-types-applications-advantages-and-methods-laser-lidar-contact-based-photogrammetry-triangulation-structured-pulse-light>
- Jotexworks. Yritys. Viitattu 11.1.2021. Saatavissa <http://www.jotexworks.fi/yritys>
- Keinänen, T. & Kärkäinen, P. 2009. Konetekniikan perusteet. 7. uudistettu painos. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
- Laserdesing. 3D-skanning in the metal fabricating sheet metal industry. Viitattu 13.1.2021. Saatavissa <https://www.laserdesign.com/3d-laser-scanning-in-the-metal-fabricating-sheet-metal-industry>
- Maaranen, K. 2004. Koneistustekniikat. 5. uudistettu painos. Porvoo: WSOY.
- MLT Finland a. MetraSCAN 3D-skanneri. Viitattu 16.4.2021. Saatavissa <https://www.mltfinland.fi/metrascan3d/>
- MLT Finland b. Handyscan 3D-skanneri. Viitattu 16.4.2021. Saatavissa <https://www.mltfinland.fi/handyscan-black/>
- Modena. history of 3d-scanners. Viitattu 11.1.2021. Saatavissa <https://www.modena.co.za/history-of-3d-scanners>
- Greif, M. Zero point clamping systems. stark-roemheld Viitattu 19.2.2021. Saatavissa <https://www.stark-roemheld.com/en/solutions/zero-point-clamping-systems>
- Pikkusilta, T. 2021. Tuotantojohtaja. Jotex Works Oy. Haastattelu 5.3.2021.
- Suominen, S. 2021. Työnjohtaja. Jotex Works Oy. Haastattelu 15.5.2021.
- Työkappaleiden kiinnittäminen FM-järjestelmässä. 1989. Tekninen tiedotus 16/89. Helsinki. Metalliteollisuuden kustannus OY.
- 3erp. The best way to load your workpiece for cnc machining. Viitattu 19.1.2021. Saatavissa <https://www.3erp.com/blog/find-the-best-way-to-load-your-workpiece-for-cnc-machining/>



Osa 4 (kotelo) vuorataan 1,5mm 1.4404 levyllä ympäriinsä.

ITEM NO.	PART NUMBER	DESCRIPTION	QTY.
1	PäätyEtu	330x250x40	1
10	Vuoraus/gladding	1.4404 PL1,5	1
6	PäätyVino	330x280x40	1
7	LappuSivu	330x250x40	3
8	KorvakeYlä	330x250x40	2
9	KorvakeAla	330x110x40	2

Rev	DESCRIPTION			AUTHOR	DATE
1	2	3	4		



(1:20)

-QUALITY REQUIREMENTS FOR FRAME
SECTION OF WELDED CONSTRUCTION
FRAMEV020 AND FRAMEV021

-FOR COMBINING OF A MILD STEEL AND STAINLESS STEEL PLATE, USE OVERALLOYED FILLER METAL

-WELDS OF PIECE TO BE CLAD FLAT
FACED WELDS AND GRINDING TO
SURFACE LEVEL

-REMOVE SPATTER AND EXCESS WELD METAL FROM FRAME SURFACES UNDER CLADDING SHEET

-CLADDING SHEET WELDS 1,0 OR 1,5

-SEAL INTERNAL GAPS OF CASING TO BE PAINTED WITH COVERING WELDS

-PICKLE AND WASH THE WELDS AS PER
L0 01203

General Tolerance:		Welding Tolerance:		Heat Treatment Tolerance:		Flame Cutting Tolerance:		Machining Tolerance:	
Mass 307.7 kg		Surface thickness		Color			Surface Treatment		
		Size / Scale A3 1:10		Material			Designed By Pohjola K		Date 17.2.2021
				Description TestiKokoonpano Hitsaus			Approved by		Date
							Drawing number		Rev

