



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Antti Jämsä

Konenäön käyttöönoton suunnittelu robottihitsaussoluun

Opinnäytetyö

Kevät 2022

Konetekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Konetekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Jämsä Antti

Työn nimi: Konenäön käyttöönoton suunnittelu robottihitsaussoluun

Ohjaaja: Kitinoja Kimmo

Vuosi: 2022

Sivumäärä: 40

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella Pirkanmaan Levytyö Oy:n robotille yleiskiinnitin, jolla saa mahdollisimman monta erikokoista valutusallasta kiinni. Toisena tavoitteena oli määrittää konenäkösovellutus yrityksen tarpeeseen. Hitsausrobotin ohjelman haluttiin myös toimivan niin, että se tunnistaa kappaleen ja vaihtaa kyseiselle kappaleelle tehdyn hitsausohjelman. Tarkoituksena oli nopeuttaa toimeksiantajan altaiden hitsausta ja saada robotin ohjelmien valinta automatisoitua.

Konenäkö on osa kokonaisuutta, johon kuuluu kuvan hankinta, käsittely, analysointi ja älyn suorittama päätöksenteko. Konenäköjärjestelmän käyttöönotto on haastavaa, jos komponenttien määrittäminen ei tee huolella, sillä kuvan täytyy olla riittävän tarkka ollakseen hyödyllinen. Robotiikassa konenäkö nopeuttaa ja tuo joustavuutta esimerkiksi pakattaessa epämääräisiä kappaleita linjastolla tai hitsattaessa optisella railon seurannalla. Optiset järjestelmät robotteihin voivat olla kalliita, mutta niitä saa myös halvemmalla, jos laskee ja määrittää komponentit itse.

Opinnäytetyön sovellusosassa perehdyttiin hitsauskiinnittimen suunnitteluun sekä testaukseen, jonka jälkeen määritettiin sopiva kamerajärjestelmä toimeksiantajan tarpeisiin. Lopuksi kehitettiin ratkaisu altaiden hitsaukseen, jossa railonhakua sovellettiin tunnistamaan hitsauslangalla kappale, jonka jälkeen kosketuskohdan koordinaattien perusteella ohjelma vaihtoi kappaleelle oikean hitsausohjelman.

Lopputuloksena yritys sai toimivan ratkaisun altaiden robottihitsaukseen sekä suunnitelman kamerajärjestelmästä, jonka voi asentaa tulevaisuudessa. Yritys sai myös paljon uutta tietoa konenäkömahdollisuuksista robottihitsauksen apuvälineenä ja tulevaisuudessa aiotaan soveltaa tätä tietoa myös muille tuotteille. Työn avulla yrityksen on helppo jatkossa laajentaa hakuohjelman käyttöä robotin muille ohjelmille.

¹ Asiasanat: Konenäkökamera, Hitsausrobotti, Lankahaku

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Mechanical Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author/s: Jämsä Antti

Title of thesis: Machine vision deployment design for a robot welding cell

Supervisor(s): Kitinoja Kimmo

Year:2022

Number of pages:40

Number of appendices:0

The aim of the thesis was to design a universal fastener for a robot of Pirkanmaan Levytyö Oy, a robot which could be used to fasten as many draining pools of different sizes as possible. Another goal was to determine the machine vision application for the company's need. It was also requested the welding robot program to work so that it would recognize parts and change the welding program made for the parts. The aim was to speed up the welding of the client's draining pools and make the selection of robot programs automated.

Machine vision is part of a whole that includes image acquisition, processing, analysis, and decision-making by the intellect. Deploying a machine vision system is challenging if the configuration of the components is not done carefully, as the image must be accurate enough to be useful. In robotics, machine vision speeds up and brings flexibility, for example, when packing vague pieces on a packing line or welding with optical groove tracking. Optical systems for robots can be expensive, but they can also be obtained more cheaply if you calculate and configure the components yourself.

In the application part of the thesis, the design and testing of the welding fastener was studied, after which a suitable camera system for the client's needs was determined. Finally, a solution for welding draining pools was developed, in which a groove search was applied to identify a part with a welding wire. After identifying the part, the program changed the correct welding program for the part based on the coordinates of the point of contact.

As a result, the company received a workable solution for robotic pool welding as well as a plan for a camera system that could be installed in the future. The company also received much new information about machine vision as a tool for robot welding and in the future this information would be applied to other products as well. The work will make it easy for the company to expand the use of the search program to other robot programs in the future.

¹ Keywords: Machine vision camera, welding robot, Wiresense

SISÄLTÖ

| | |
|--|----|
| Opinnäytetyön tiivistelmä | 2 |
| Thesis abstract | 3 |
| SISÄLTÖ | 4 |
| Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo | 6 |
| Käytetyt termit ja lyhenteet..... | 8 |
| 1 JOHDANTO | 9 |
| 1.1 Yritysesittely | 9 |
| 1.2 Työn tausta | 9 |
| 1.3 Työn tavoitteet ja rajaus | 10 |
| 2 Robotiikka ja konenäön komponentit..... | 11 |
| 2.1 Teollisuusrobotti | 11 |
| 2.1.1 Hitsausrobotti | 12 |
| 2.1.2 Robotin ohjelmointi | 13 |
| 2.2 Konenäkö | 13 |
| 2.3 Konenäkö robotiikassa | 14 |
| 2.4 Konenäkökamera | 14 |
| 2.5 Kuvantamisteknologiat | 15 |
| 2.6 Kameran valinnan vaiheet..... | 16 |
| 2.6.1 Skannaustavat | 17 |
| 2.6.2 Kuvausalue (FOV) | 18 |
| 2.6.3 Resoluutio..... | 19 |
| 2.6.4 Kameran mallin, kuvakaapparin ja laitteistoalustan valitseminen..... | 20 |
| 2.6.5 Linssi..... | 21 |
| 2.6.6 Valaistus | 22 |
| 2.7 Kameralla mittaaminen..... | 23 |
| 2.8 Kuvankäsittely | 23 |
| 3 Valutusaltaan robottihitsaus | 25 |
| 3.1 Toimeksiantajan laitteisto | 25 |
| 3.2 FEM-analyysi..... | 25 |

| | | |
|-----|---|----|
| 3.3 | Kiinnittimen suunnittelu ja testaus | 26 |
| 3.4 | Kameran komponenttien valinta | 30 |
| 3.5 | Tunnistusohjelma | 33 |
| 3.6 | Testaaminen..... | 35 |
| 4 | Yhteenveto | 37 |
| | LÄHTEET | 39 |

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

| | |
|--|----|
| Kuva 1 Teollisuusrobotteja..... | 12 |
| Kuva 2 CCD-kenno..... | 16 |
| Kuva 3 Esimerkki epäsuorasta valaistuksesta, jossa valaisimet valaisevat sateenvarjoja ja valo heijastuu varjosta kohteeseen | 23 |
| Kuva 4 Robotilla haetaan kuvan nuolen osoittamasta suunnasta ja kuvanottohetkellä robotti on saanut kosketuksen kappaleesta | 35 |
| Kuva 5 Ohjelman testikappaleina käytettiin kahta pienakoe kappaletta, jotka esittivät kahta eri allasta | 36 |
| | |
| Kuvio 1 Tyypillisen näköinen allas | 9 |
| Kuvio 2 Kuvankäsittelymenetelmiä | 13 |
| Kuvio 3 Nipkowin kiekko | 15 |
| Kuvio 4 Field of view (FOV) | 18 |
| Kuvio 5 Toimeksiantajan robotti ja sen L-pöydät | 25 |
| Kuvio 6 Kappale, johon on lisätty verkotus ja reunaehdot..... | 26 |
| Kuvio 7 kiinnittimen vaihtoehtoiset ratkaisut | 27 |
| Kuvio 8 Pystyssä oleva allas, 2kN jännitys | 28 |
| Kuvio 9 Pystyssä oleva allas, 2kN taipuma..... | 28 |
| Kuvio 10 Riippuva allas, 2kN jännitys | 29 |
| Kuvio 11 Riippuva allas, 2kN taipuma | 29 |
| Kuvio 12 kuvaustilanne, jossa kuvan alareunassa, läpinäkyvässä seinässä oleva kamera kuvaa altaan toista seinää vasten | 30 |

| | |
|---|----|
| Kuvio 13 Kameran tekniset tiedot | 32 |
| Kuvio 14 Kohdassa 2 hakuohjelman ajon jälkeen siirtynyt hitsauspoltin, kohta 1 ennen hakuohjelman ajoa..... | 34 |

Käytetyt termit ja lyhenteet

| | |
|--------------------------------|---|
| FEM | Finite Element Method, Elementtimenetelmä, käytetään pääasiallisesti lujuuslaskennoissa. Tunnetaan myös termillä FEA. |
| CCD-kenno | Valonherkkä kenno, joka muuttaa valon tai infrapunasäteilyn digitaalisiksi signaaliksi ja joita käytetään muun muassa digitaali- ja videokameroissa. |
| Kelloavainnus | Suosittu tekniikka, jota käytetään monissa synkronisissa piireissä dynaamisen tehohäviön vähentämiseen poistamalla kellosignaali, kun piiri ei ole käytössä. Kelloavainnointi säästää virtaa karsimalla kellopuuta, minkä kustannuksella lisätään piiriin logiikkaa. |
| Kiinteäkuviainen kohina | Fixed pattern noise, termi, joka annetaan tietyille digitaalisten kuvantamisantureiden kohonakuviolle, joka on usein havaittavissa pidemmän valotuksen kuvissa, joissa tietyt pikselit ovat herkkiä antamaan kirkkaampia intensiteettejä, jotka ylittävät keskimääräisen intensiteetin. |
| DSNU | Dark Signal Nonuniformity, Pimeän signaalin epäyhtenäisyys on poikkeama kuvantamisjärjestelmän keskiarvosta tietyllä asetuksella (lämpötila, integrointi-aika). |
| mm | Millimetri, pituuden mittayksikkö |

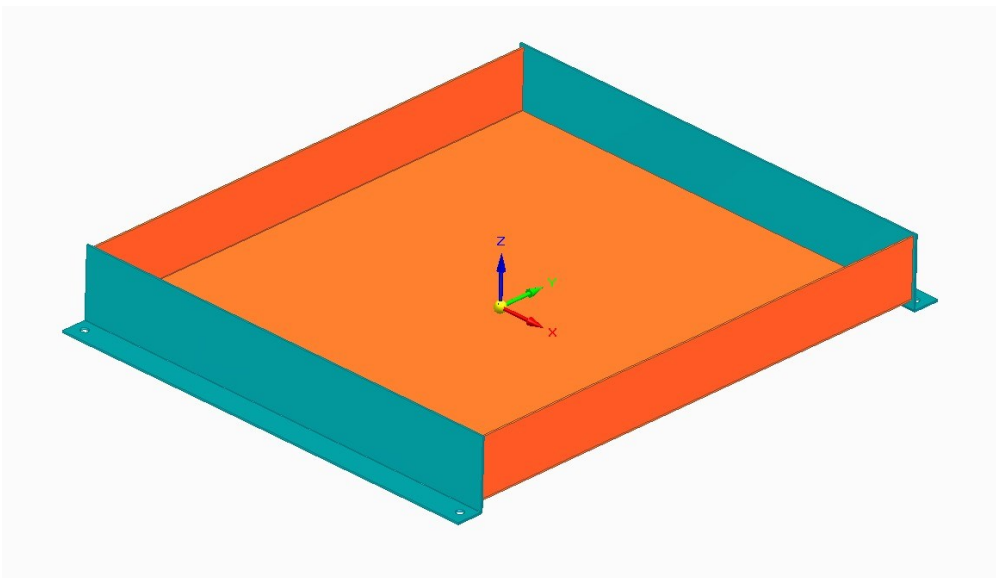
1 JOHDANTO

1.1 Yritysesittely

Pirkanmaan Levytyö on vuonna 2002 perustettu alihankintakonepaja, joka sijaitsee Pirkanmaan Ruskossa (Pirkanmaan Levytyö, i.a.). Yritys tarjoaa asiakkailleen plasmaleikkausta, mankelointia, särmäystä, koneistuspalveluita, pintakäsittelyä ja hitsausta asiakkaan piirustusten mukaisesti. Tuotannossa pääpaino on hydraulijärjestelmien komponenteilla ja niiden alikokoonpanotuotteilla, joita valmistetaan asiakkaille varusteltaviksi sekä suoraan vientiin.

1.2 Työn tausta

Suurimpaan osaan yrityksen valmistamista hydraulijärjestelmän kokonaisuuksista kuuluu öljysäiliö sekä allas (kuvio 1), johon jäteöljyt säiliöstä valutetaan öljynvaihdon sekä huollon yhteydessä. Allas tyypillisesti koostuu kahdesta päädystä sekä vaipasta, jotka hitsataan ulko- sekä sisäpuolelta yhteen vuotojen ja ruostevaurioiden minimoimiseksi.



Kuvio 1. Tyypillisen näköinen allas (Jämsä, 2022).

Allasmalleja on jokaisella asiakkaalla useita omanlaisia, joten variaatioita on useita kymmeniä. Kaikissa on silti samat pääkomponentit, päädyt sekä vaippa. Tällä hetkellä tuotteet hitsataan käsin, ja koska tuotteita ei pysty hitsamaan sitä kääntelemättä, suuri osa valmistusajasta menee nosturin käyttöön, joka robotilla tapahtuisi turvallisemmin ja nopeammin kulmapöytää kallistamalla. Robotilla hitsattaessa jokaiselle tuotteelle pitää etsiä oma

hitsausohjelmansa ja kiinnittimensä, joka vie liikaa aikaa, kun tuotteita tehdään yhden kappaleen sarjoissa. Näiden havaintojen pohjalta päätettiin aloittaa kehitysprojekti, jolla saadaan tuotteet tehokkaammin hitsattua ja täten kasvatettua kilpailukykyä kyseisillä tuotteilla.

1.3 Työn tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella robotille yleiskiinnitin, jolla saa lähes kaikki vastaavat altaat kiinnitettyä niin, että niiden kaikki saumat saa hitsattua yhdellä kiinnityskerralla. Tavoitteena on myös tehdä robotille pääohjelma, jolla se tunnistaa altaan ja vaihtaa kyseiselle altaalle tehdyn hitsausohjelman, jonka jälkeen hitsaa tuotteen. Kappaleen tunnistaminen oli tämän opinnäytetyön alussa tarkoitus suorittaa kameran avulla, mutta koska kameralle ei ollut niin paljon käyttöä, että sitä olisi ollut järkevää tällä hetkellä hankkia, päätettiin suorittaa tunnistaminen jo olemassa olevilla menetelmillä. Opinnäytetyössä käydään läpi suunnittelun eri vaiheet ja kiinnittimen testaukset riittävän kestävyuden takaamiseksi. Opinnäytetyössä myös käydään läpi kameran, linssin sekä valaistuksen vaikutukset konenäkökomponentteja valittaessa.

Opinnäytetyö rajattiin hitsauskiinnittimen suunnitteluun sekä konenäkökameran ja sen laitteiden määrittelyyn. Lopussa tuodaan vielä esille ratkaisu, jolla saatiin toimiva, altaan mukaan hitsausohjelman vaihtava pääohjelma tehtyä. Tuotteen hitsausta robotilla tai sen hitsausohjelmaa ei käsitellä tässä opinnäytetyössä, koska ne eivät ole olennaisia osia tämän tutkimusongelman ratkaisemisen kannalta.

2 Robottiikka ja konenäön komponentit

Valmistajat kaikkialla maailmassa nopeuttavat tuotantolinjoja robottihitsauksen ansiosta (Genesis systems, i.a.). Hitsausrobotit eivät vain nopeuta vauhtia, vaan tarjoavat erinomaisen tuoton sijoitukselle. Tämän kasvavan suosion ansiosta robottien ohjelmoinnin tarve tiloissa, joissa automaatio on ollut olemassa vasta viime vuosina, kasvaa jatkuvasti. Robottia ja konenäköä yhteen liitettäessä tulee ottaa lukuisia asioita huomioon, jotta kaikki sujuisi saumattomasti. Konenäkö on ollut tärkeässä roolissa teollisen robotiikan kehityksessä, ja nämä kaksi integroituvat yhä enemmän (mts.). Suurin syy tähän trendiin on se, että kameroista on tullut tehokkaampia ja tarkempia vaativissa teollisuusympäristöissä kuin koskaan ennen. Vaikka robottien ominaisuudet ovat myös varmasti parantuneet, tuottoisimpia ja tuottavimpia etuja on tarjonnut kameroiden kyky antaa robottien nähdä, mitä ympärillä on.

2.1 Teollisuusrobotti

Robotti voidaan arkikielessä määrittää ihmisen valmistamaksi mekaaniseksi laitteeksi, joka on jotenkin vuorovaikutuksessa ympäröivään maailmaan (Hänninen, 2022, s. 30). Tämän määritelmän mukaan moni arjessa päivittäin käytetty laite tavallisen kahvinkeitin tavoin sopisi robotin määritelmään, joten tarkempi ja selkeämpi määritelmä, joka kuvaisi pelkästään määritelmään soveltuvia robotteja, on tarpeen. Määritelmiä näyttäisi löytyvän useampia, mutta onneksi ne ovat hyvin samankaltaisia. Esimerkiksi Merriam-Websterin tietosanakirja on määritellyt robotin näin: ”Robotti on laite, joka muistuttaa elävää olentoa pystyessään liikkumaan itsenäisesti ja suorittaessaan monimutkaisia tehtäviä” (Merriam-webster, i.a.). Tämä määritelmä jättää suurimman osan teollisuusroboteista robotin määritelmän ulkopuolelle, koska moni niistä ei muistuta elävää olentoa ulkonäöllisesti.

Paremmän määritelmän tarjoaa Robot institute of america, joka antoi roboteille määritelmän vuonna 1979. Se kuuluu seuraavasti: ”Robotti on uudelleenohjelmoitava, monitoiminen manipulaattori, joka on suunniteltu siirtämään materiaalia, osia, työkaluja tai erikoislaitteita ohjelmoitujen liikkeiden avulla suorittaakseen erilaisia tehtäviä” (Robot Institute of America, 1979). Tähän määritelmään sopivat useimmat roboteiksi mieltämämme laitteet ja se myös on näistä mainituista määritelmistä lähimpänä yhtä standardoitua ja todennäköisesti laajimmin käytössä olevaa määritelmää (Hänninen, 2022, 31–32). Sen on määritellyt International organization for standardization (ISO), ja se kuuluu näin: ”Robotti on ympäristöönsä vaikuttava laite, joka on ohjelmoitavissa toimimaan vähintään kahdella akselilla. Robotti kykenee

liikkumaan itsenäisesti sille tarkoitettuun ympäristöön suorittaakseen sille annettuja tehtäviä” (International Organization for Standardization (ISO), 2012, luku 2.1). Teollisuusrobotti (kuva 1) on automaattisesti ohjattava uudelleenohjelmoitava ja monikäyttöinen manipulaattori, joka on ohjelmoitavissa vähintään kolmelle akselille (International federation of robotics (IFR), 2017). Teollisuusroboteista on myös oleellista muistaa se, että ne on suunniteltu toimimaan teollisuuden tehtävissä toisin kuin muut robotit (Hänninen, 2022, s. 37).



Kuva 1. Teollisuusrobotteja, (KUKA, 2005).

2.1.1 Hitsausrobotti

Erilaiset hitsaustekniikat, kuten pistehitsaus ja kaarihitsaus, eroavat robottisovelluksina toisistaan merkittävästi (Aalto ym., 1999, s. 87). Suurin näkyvä ero on robottien koossa, sillä pistehitsausrobotin täytyy liikuttaa noin sadan kilon painoista pistehitsaustyökalua kaarihitsausrobotin työkalun painaessa vain muutamia kiloja. Toinen merkittävä ero on itse prosessissa, jossa pistehitsauksen hitsaustapahtuma tapahtuu pisteissä, mutta kaarihitsauksessa hitataan pätkiä tai jopa useiden metrien mittaisia hitsaussaumojia. Pistehitsattaessa kaikki robotin liikkeet ovatkin aina siirtymiä, joihin kuluva aika tulisi minimoida. Kaarihitsauksessa tämänkaltaisia siirtymiä onkin huomattavasti harvemmin. Etäohjelmoinnin kannalta kaarihitsaus muistuttaa enemmän esimerkiksi vesisuihkuleikkausta kuin pistehitsausta.

2.1.2 Robotin ohjelmointi

Robottien ohjelmointi lähti sähkömekaanisista kytkennöistä, joiden avulla saatiin nivelet ajamaan päin haluttuja rajakatkaisijoita yksi vaihe kerrallaan (Aalto ym., 1999, s. 78). Sittemmin käden liikkeitä johdattelemalla, eli nauhoittamalla opetettiin nivelten paikka-antureita toistamaan näitä liikkeitä. Lähteen julkaisuaikaan vuonna 1999 valtaosa silloisista sovelluksista on opetettu roboteille liikuttamalla käsivarsi muutamiin asemiin, jonka jälkeen toiminnan logiikka on täydennetty robotin ohjelmalla. Mallipohjaista ohjelmointia voidaan erillisellä tietokoneella suorittaa sitten, kun robotista ja työympäristöstä on kolmiulotteinen tietokonemalli. Uusi mahdollisuus on teleoperointi, eli robottien liikuttaminen etäältä teknisen käyttäjäliitynnän avulla.

2.2 Konenäkö

Konenäkö on tietokoneiden, robottien ym. kyky saada tietoa esineistä, erityisesti niiden ulkoisista ominaisuuksista, kuten muodosta ja väristä, heijastuneen sähkömagneettisen säteilyn perusteella (Lexico, i.a.). Konenäön tarkoitus on jäljitellä ihmisen näköaistia, mutta tarkalleen se on osa kokonaisuutta, jossa kuvan hankinta, käsittely, analysointi ja sen perusteella suoritettavat päätökset tehdään tekoälyn avulla (Hänninen, 2022, s. 251–252). Konenäössä käytetään hyödyksi kuvantunnistusta ja erilaisia kuvankäsittelyalgoritmeja. Merkittävimpiä kuvankäsittelymenetelmiä näkyy kuviossa 2.

| | |
|------------------------|--|
| Segmentointi | Kuvan jakaminen yhtenäisiin alueisiin, esimerkiksi värin perusteella. |
| Kynnystys | Kuvan sävyjen vähentäminen (mustavalkoiseksi). |
| Tekstintunnistus | Koneellisesti tai käsin tuotetun tekstin tunnistaminen. |
| Hahmontunnistus | Mallien tai kaavojen tunnistus kuvasta. |
| Viivakoodien lukeminen | Optiseen koneellisesti luettavaan muotoon koodattujen tietoalkoiden lukeminen. |

Kuvio 2. Kuvankäsittelymenetelmiä (mukaillen Hänninen, 2022).

Yksinkertainen esimerkkutilanne, jossa konenäköä hyödynnetään, on lentokentillä suoritettava passintarkastus (Hänninen, 2022, s. 252–253). Passintarkastuksessa kone tunnistaa tarkastettavan henkilön kasvot ja vertaa niitä passikuvaan. Toinen esimerkki on rintasyöpäseulonat, missä konenäön löytäessä poikkeamia tomografiakuvista, se ilmoittaa asiasta lääkärille. Tyypillinen käyttöympäristö konenäköä käyttäville tekoälyratkaisuille on teollisuus, jossa sitä hyödynnetään mm. lajittelussa sekä laadunvalvonnassa. Konenäkö on myös ihmiseen verrattaessa väsymätön, nopeampi ja usein myös paljon tarkempi.

2.3 Konenäkö robotiikassa

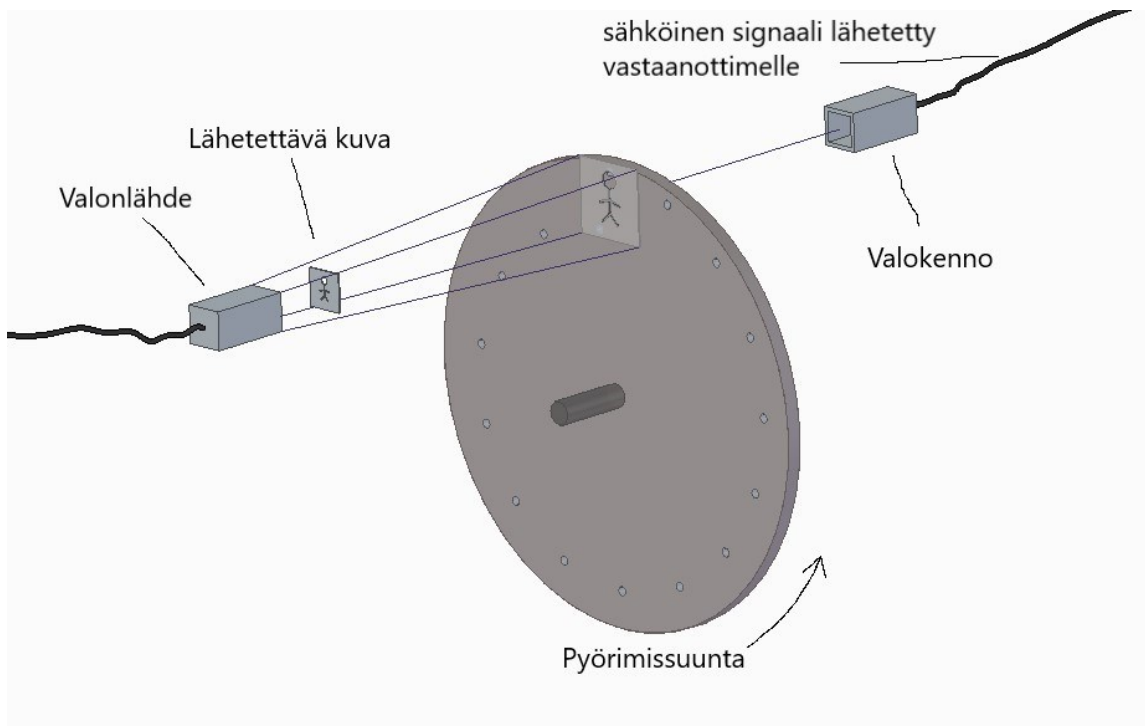
Konenäköjärjestelmien hyödyt sekä mahdollisuudet on tunnettu tuotantoautomaation ja robotiikan sovelluksissa jo pitkään (Aalto ym., 1999, s. 56). Ensimmäiset hyvin yksinkertaiset näköjärjestelmät saapuivat robotiikkaan 1980-luvulla. Sovellukset liittyivät enimmäkseen kappaleen asennon tunnistamiseen. Konenäkösovellusten soveltamiselle suurimman esteen asetti tietokoneiden liian rajallinen laskentakapasiteetti. Järjestelmän kokonaishinta paisui kohtuuttomaksi, kun konenäköön liittyvät laskentatehtävät olivat raskaita ja tarvittava kapasiteetti saavutettiin vain erikoiskomponenteilla. Lähteen mukaan jo vuonna 1999 tietokoneiden laskentatehossa tapahtunut huima kehitys on mahdollistanut edullisten konenäköjärjestelmien toteutumisen.

Konenäköä tarvitaan konenäköjärjestelmissä silloin, kun perinteinen anturointi ei riitä ja kun halutaan minimoida paikottimien tai mekaanisten kiinnittimien tarve (Aalto ym., 1999, s. 56). Konenäkö ei kaikissa tapauksissa vielä kykene kilpailemaan hinnalla perinteisten mekaanisten tai anturipohjaisten ratkaisujen kanssa, vaan sovellutukset ovat lähinnä erikoissovelluksissa. Jo vuonna 1999 arvioitiin kuitenkin, että tilanne muuttuisi hyvinkin nopeasti, sillä konenäköjärjestelmien huima yleistymisen tulisi pudottamaan järjestelmiin kuuluvien komponenttien hintoja.

2.4 Konenäkökamera

Kaksiulotteisten kuvien mekaaninen skannaaminen pyörivällä levyllä, jossa oli spiraalin muodossa reiät (kuvio 3), korvattiin 1930-luvun alussa elektronisilla skannausmenetelmillä, joissa käytettiin apuna elektroniputkia (Hornberg, 2006, s. 361–362). Skannaus- ja vahvistinputket dominoivat pitkään, kunnes ne korvattiin sulavasti transistoreilla 1960-luvulla. Mikropiirien

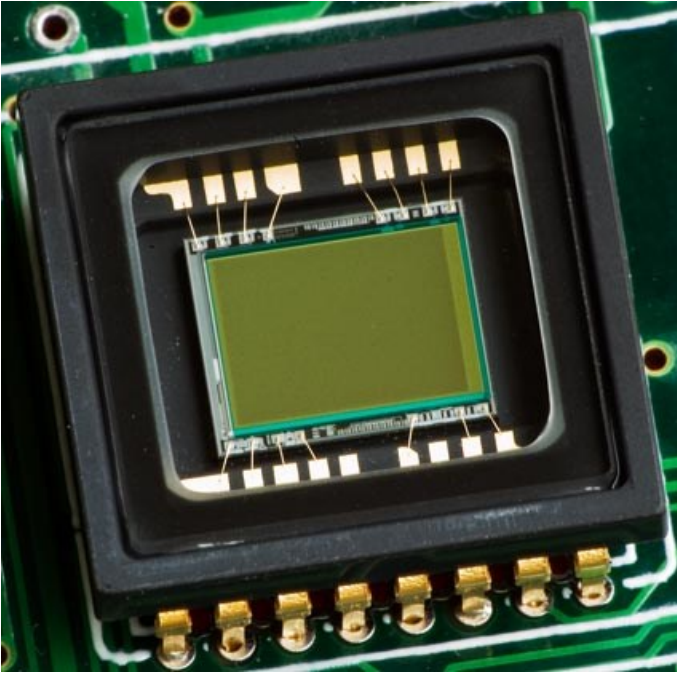
keksiminen 1970-luvulla johti CCD-kennojen (Charge Coupled Devices) kehittämiseen, jotka ovat kameratekniikassa edelleen merkittävässä roolissa. Toinen samoihin aikoihin kehitetty tekniikka valonherkille kennoille perustuu CMOS-teknologiaan (Complementary Metal Oxide Semiconductor), joka on myös käytetty, mutta molemmilla on omat hyvät sekä huonot puolensa.



Kuvio 3. Nipkowin kiekko (mukaillen Hornberg, 2006).

2.5 Kuvantamisteknologiat

CCD-teknologia kehitettiin alun perin analogiseen tallennukseen sekä siirtorekistereihin, mutta siitä tuli yleisin skannaustekniikka, koska huomattiin, että silikoni on myös valonherkkää (Hornberg, 2006, 364). CCD-kennossa (kuva 2) valosähköinen ilmiö irrottaa fotoneilla atomeista elektroneja, joita kutsutaan fotoelektroneiksi, joiden varaus kerätään ja säilötään pieniin virtuaalisiin lokeroihin, muodostaen yksittäisiä kuvaelementtejä, pikseleitä. Useita kelloavainnoiteja - tekniikka, jolla poistetaan kellosignaali piirin ollessa käyttämättömänä vähentäen dynaamista tehohäviötä - käyttämällä on mahdollista siirtää tämä varaus sarjassa kohti laitteen ulostuloa, jossa se muutetaan jännitteeksi tai virraksi. Useat valmistajat ovat kehitelleet omat tuotteensa omiin laitteisiinsa, joten pieniä eroja löytyy toiminnankin kannalta, joita ovat esimerkiksi skannaussuunta tai varastojen tärkeysjärjestys tiedon siirrossa laitteesta ulos.



Kuva 2. CCD-kenno (Serych, 2006).

CMOS-tekniologiaa on usein kuvailtu kilpailevaksi teknologiaksi CCD:n kanssa, jolla on paljon samoja piirteitä (Hornberg, 2006, s. 373–374). CMOS-kenno ei ole mikään uusi keksintö, mutta sen kuvantamistekniologia on kokenut suuria kehitysvaiheita vuosituhannen vaihteen jälkeen. Perustoiminta on sama, mutta kun CCD siirtää varauksen pikseli kerrallaan ulostulolle, CMOS sen sijaan muuntaa varauksen volteiksi jo pikselissä.

2.6 Kameran valinnan vaiheet

Onnistunut konenäköjärjestelmä vaatii perusteellisen suunnittelun komponenteista ja kuvaustilanteesta ennen komponenttien hankintaa, jotta on mahdollista saavuttaa kriteerien rajaama mahdollisimman toimiva ja tilanteeseen sopiva järjestelmä (Hornberg, 2006, 35–36). Usein ympäristön vaikutukset, kuten mekaaniset toleranssit tai jopa kuvaustilanne on jätetty erittelemättä riittävän tarkasti, jolloin ei päästä haluttuun tarkkuuteen tai laatuun ympäröivien olosuhteiden vuoksi. Tämä voi johtua siitä, että ei ole tarkkaa käsitystä, mihin kuvankäsittely pystyy ja kuinka vaikeaa kuvan prosessointi vaihtuvissa olosuhteissa todellisuudessa onkaan. On myös tärkeää järjestelmää asennettaessa ja kalibroitaessa varata riittävästi demokappaleita, joissa on riittävän suuri hajonta keskenään, jotta voidaan olla varmoja kameran kuvaamisen laadun tasaisuudesta ennen todellisia kuvaustilanteita. Näillä demokappaleilla saadaan määriteltyä vaadittu valaistus ja resoluutio sekä nähdään, riittääkö kameran ominaisuudet

tunnistamaan luotettavasti kyseisellä vaihtuvuusalueella olevat kappaleet. Hornbergin (2006 s. 36) mukaan tärkeitä vaiheita konenäköjärjestelmää suunnitellessa ovat:

- Kameran skannaustavan määrittely
- Kuvausalueen määrittely
- Vaaditun resoluution laskeminen
- Kameran mallin, kuvakaapparin ja laitteistoalustan määrittely
- Linssin valitseminen
- Valaistuksen valitseminen
- mekaanisen ja sähköisen käyttöliittymän määrittäminen
- Ohjelmiston määrittäminen

2.6.1 Skannaustavat

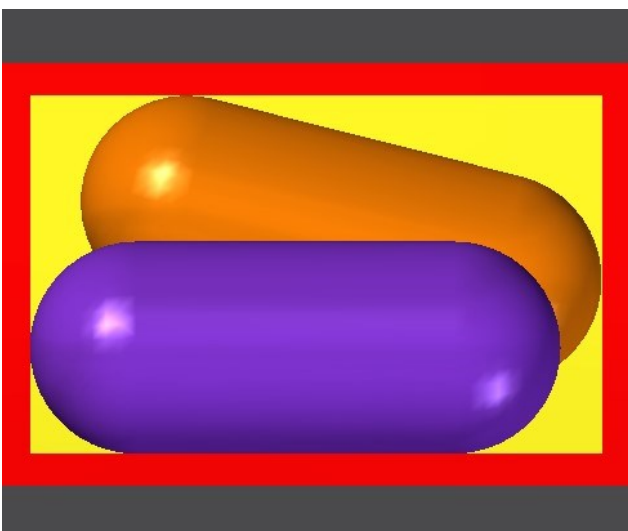
Skannaustyyppinä on kahta eri tyyppiä, alueskannaus ja linjaskannaus, joista alueskannauskamera kuvaa paikallaan olevaa tuotetta ja linjaskannauskameraa käytetään yleensä kuvaamaan jatkuvaa tuotevirtaa, josta selvittää poikkeamat liikkeessä (Hornberg, 2006, s. 41–42). Alueskannauskamerat ovat yleisempiä automaatiojärjestelmissä ja tuovat useita etuja linjaskannauskameroihin verrattuna, kuten että linjaskannauskamerat ovat huomattavasti kalliimpia. Alueskannauskamera on myös todella paljon helpompi asentaa, koska linjaskannauskameralla on pitkänomainen skannausalue, joka tulee saada linjaan kuvattavan tuotteen kanssa. Kuva pitää ajoittaa ottamaan oikealla hetkellä, jotta saadaan tuotteesta riittävän hyvä kuva. Linjaskannauskamera tosin omaa tyypillisesti paremman resoluution. Jos vertaa kuvausnopeuksia niin kuvakaapparista riippuen sillä on myös mahdollista prosessoida jatkuvaa kuvavirtaa.

2.6.2 Kuvausalue (FOV)

Kuvausalueeseen vaikuttavat Hornbergin (2006 s. 42) mukaan seuraavat tekijät:

- Suurin kappaleen koko
- Suurin kappaleen paikoitusmuutos
- Reunukset kappaleen ulkopuolella, jotta kappaleen ääriimitat pysyvät kameran kuvausalueen sisällä
- Sensorin kuvasuhde

Kuviossa 4 violetti kappale kuvaa suurinta kuvattavaa kappaletta (Hornberg, 2006 s. 43). Paikoitusvirheiden vuoksi esimerkiksi liukuhihnalla liikuessa tuote saattaa olla eri asennossa kuvaushetkellä, joten kuvassa oranssi kappale kuvaa suurinta mahdollista siirtymää, mitä tuotteella on tulevaisuuden kuvaustilanteissa. Keltainen alue rajaa näiden ääriviivat, josta muodostuu suurin kuvattava alue. Punainen alue on kehystys kuvattavan alueen ympärille, jolla helpotetaan käsittelyohjelmien tuotteen paikoittamista, koska sen ääriviivat ovat selkeämmin nähtävissä, joten virheiden mahdollisuus pienenee. Kameran kiinnittämisessä tapahtuvat pienet paikoitusvirheet saadaan myös tällä korjattua. Musta alue kuvaa lopullista kuvausalueetta, sillä kameroissa käytetään useimmiten kuvasuhdetta 4:3, joten muiden kuvasuhteiden kameroissa tämän alueen voi muuttaa kyseisen kameran kuvasuhteen mukaiseksi.



Kuvio 4. Field of view (FOV) (mukaillen Hornberg, 2006).

2.6.3 Resoluutio

Kameran mallia valittaessa vaadittu resoluutio, eli erotuskyky, täytyy laskea, jotta voi varmistaa kameran olevan riittävän tarkka työhön (Hornberg, 2006, s. 44–45). On määritettävä pienimmän tutkittavan piirteen koko ja sen alueelle osuvien pikseleiden määrä. Kameran resoluution voi Hornbergin mukaan laskea erotustarkkuuden ja kuvausalueen avulla kaavalla:

$$R_C = \frac{FOV}{R_S} \quad (1)$$

Missä

R_C on kameran resoluutio [pikseli]

FOV on kuvausalue [mm]

R_S on erotustarkkuus [mm/pikseli]

Erotustarkkuus saadaan laskettua kaavalla:

$$R_S = \frac{S_f}{N_f} \quad (2)$$

Missä

S_f on pienimmän piirteen koko [mm]

N_f on pienimmän piirteen alueelle osuvien pikseleiden määrä [pikseli]

R_S on erotustarkkuus [mm/pikseli]

Nämä laskennat tulee suorittaa pysty- sekä vaakasuuntaan, jotta varmistutaan resoluution riittävydestä. Kameraa valittaessa kuvasuhde tulee ottaa huomioon ja valita laskettua suuremman resoluution kamera.

2.6.4 Kameran mallin, kuvakaapparin ja laitteistoalustan valitseminen

Kun skannaustapa ja vaadittu resoluutio on määritetty, voidaan valita riittävän tarkka kamera (Hornberg, 2006, s. 46). Kameran, kuvakaapparin ja laitteistoalustan valinnat vaikuttavat toisiinsa, joten ne valitaan yhtä aikaa. Kameran valintaan vaikuttavat Hornbergin mukaan vielä nämä asiat:

- Väri- tai mustavalkosensori
- Käyttöliittymä
- Lomitettu tai peräkkäispyyhkäisty skannausmenetelmä
- Hinta.

Hornbergin mukaan kuvakaapparin valintaan vaikuttavia asioita ovat:

- Yhteensopivuus pikselinopeuden kanssa
- Yhteensopivuus ohjelmiston kanssa
- Liitettävien kameroiden määrä
- Kameranohjauksen apuohjelma
- Sisäisen käsittelijän saatavuus
- Hinta.

Laitteistoalustan valinnassa huomioonotettavia asioita Hornbergin (2006, s. 47) mukaan ovat:

- Kuvakaapparin yhteensopivuus
- Ohjelmiston yhteensopivuus
- Tuen, huollon ja päivitysten saatavuus

- Käyttäjystävällisyys
- Käsittelynopeus ja -teho
- Hinta.

2.6.5 Linssi

Linssin voi valita, kun kuvausalue ja kameran resoluutio on määritetty (Hornberg, 2006, s. 48). Linssin määrittämisessä tärkeä mitta on kuvausetäisyys, jota tarvitaan polttovälin laskemiseen. Kuvausetäisyys tulee konenäköjärjestelmää suunnitellessa asettaa ennemmin pidemmäksi kuin liian lyhyeksi, koska pidemmällä kuvausetäisyydellä kuvanlaatu paranee. Linssin polttovälin laskemiseen käytettävä yksinkertainen kaava ei ole tarkka paksuille linseille, kuten kameran linseille, mutta se antaa sopivimman linssin valintaan riittävän tarkan tuloksen. Hornbergin mukaan linssin polttovälin laskukaava menee näin:

$$f' = a * \frac{\beta}{1-\beta} \quad (3)$$

Missä

f' on polttoväli [mm]

a on kuvausetäisyys [mm]

β on suurennos

Kaavaan 3 tarvittavan suurennoksen saa laskettua kaavalla:

$$\beta = -\frac{c}{FOV} \quad (4)$$

Missä

β on suurennos

FOV on kuvausalue [mm]

C on sensorin koko [mm]

Kaavaan 4 tarvittavan sensorin koon saa laskettua kaavalla:

$$\text{Sensorin leveys} = \text{pikselin koko} * \text{pikselien määrä leveyssuunnassa} \quad (5)$$

Kaava 3 antaa polttovälille arvon, jonka mukaan valitaan lähimmän polttovälin omaava linssi. Jos laskettu etäisyys jää kahden linssin välille, eikä kuvausetäisyyttä voi muuttaa, lyhyemmän polttovälin linssi on parempi valinta, koska kuvattava kohde pysyy silti kokonaan kuvausalueella.

2.6.6 Valaistus

Valaistuksen voi jakaa kahteen pääkategoriaan: taustavalaistukseen ja etuvalaistukseen (Hornberg, 2006, s. 51–52). Taustavalaistuksessa kuvattavan kohteen taakse asetetaan valaisin valaisemaan kohteen takana sijaitsevaa pintaa, jolloin kohteen ulkoreunat erottuvat paremmin mittausta varten. Etuvalaistukseen kuuluu useita erilaisia tekniikoita, joita Hornbergin mukaan ovat:

- Suora valaistus, jossa valaisin valaisee suoraan kohdetta
- Epäsuora valaistus (kuva 3), jossa valo heijastetaan erillisen pinnan kautta kohteeseen, joka tuottaa tasaisemman valon kuin suora valaistus.
- Kirkkaan kentän valaistus, jossa valo heijastetaan kappaleen pinnasta kameraan, jolloin pinta näkyy kirkkaana kuvassa, mutta valoa heijastamattomat pinnat näkyvät tummina.
- Tumman kentän valaistus, jossa valo heijastetaan pois kamerasta, jolloin kappaleen pinta näkyy tummana, mutta viistot pinnat kirkkaina.



Kuva 3. Esimerkki epäsuorasta valaistuksesta, jossa valaisimet valaisevat sateenvarjoja ja valo heijastuu varjosta kohteeseen (Dummer, 2016).

2.7 Kameralla mittaaminen

Kuvankäsittelyllä otetuista kuvista voidaan saada useita erilaisia mittoja (Keyence, i.a.). Näiden tietojen perusteella on helppo mitata eri osien ja tuotteiden mittoja ja arvioida, ovatko ne toleranssien sisällä. Kulmia tai ympyrän pyöreyttä on myös mahdollista mitata samanaikaisesti eri osien pituuksia mitattaessa. Kuvankäsittelyjärjestelmää käyttävän mittatarkastuksen avulla voidaan saavuttaa kaikkien valmistettavien kohteiden mittatarkastus. Tämä varmistaa tuotteiden vakaan laadun ja pitää kustannukset alhaisina.

2.8 Kuvankäsittely

Kun kuva on kaapattu, se käsitellään yleensä prosessointiyksikössä (AI Journal, i.a.). Järjestelmän koosta riippuen asennettava konenäkölaitteisto vaikuttaa prosessointiyksikön valintaan. Valinnassa täytyy punnita, onko kyseessä pieni sovellutus, jonka tarvitsee tarkistaa vain muutama kohde päivässä vai suurempi järjestelmä, jonka on tarkistettava muutama kohde minuutissa. Prosessointiyksikkö vaihtelee datamäärän käsittelyyn tarvittavan määrän suhteen. Kuvankäsittely on osa käsittelysarjaa, joka antaa valmiin tuloksen siitä, mitä konenäköjärjestelmällä on tarkoitus näyttää loppukäyttäjälle. Tyypillinen käsittelysarja alkaa tavallisesti työkaluilla, kuten suodattimilla, jotka muokkaavat kuvaa, minkä jälkeen tuotteiden tai kohteiden muoto ja yksityiskohdat erotetaan. Sen jälkeen tulevat tiedot, jotka on poimittava

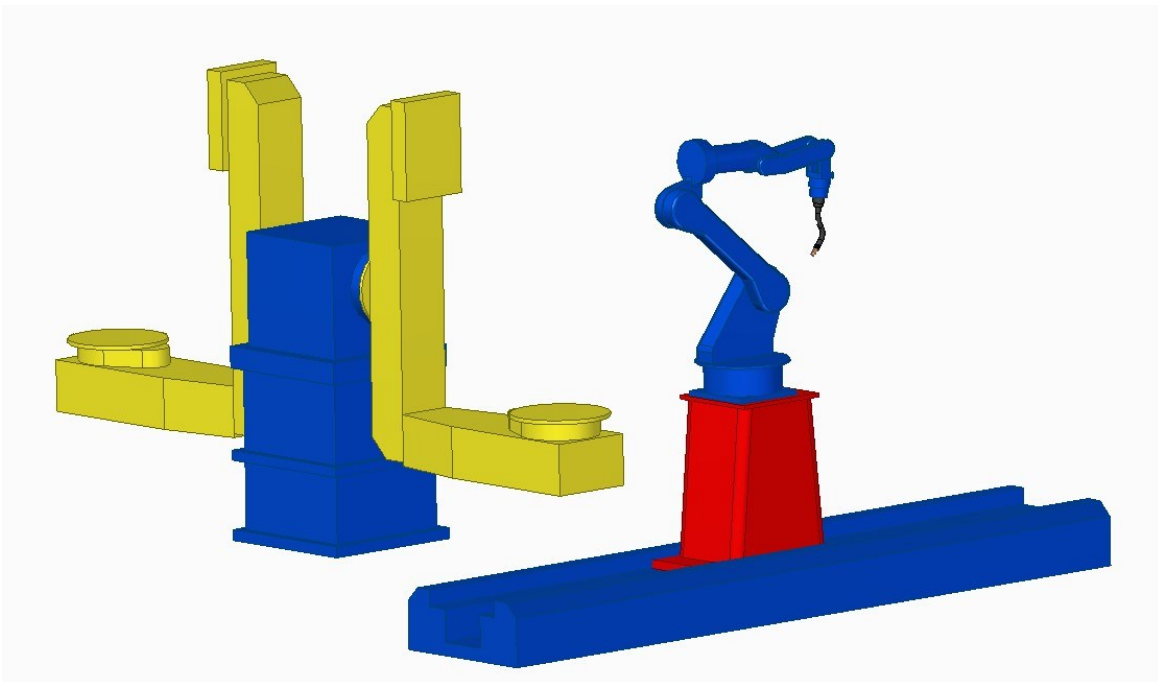
kyseisestä muodosta tai esineestä (esim. viivakoodi, mitat, määränpäätt tai postinumerot).
Nämä tiedot välitetään sitten käsittely-yksikölle osoittamaan, minne lähetys on lähetettävä tai onko lähetys läpäissyt/hylännyt tarkastukset.

3 Valutusaltaan robottihitsaus

Tässä osiossa perehdytään toimeksiantajan kiinnittimen suunnitteluun ja testaukseen, minkä jälkeen määritetään sopiva kamerajärjestelmä toimeksiantajan tarpeisiin. Lopuksi kehitetään ratkaisu altaiden hitsaukseen, jossa selvitetään yrityksen jo olemassa olevalla laitteistolla.

3.1 Toimeksiantajan laitteisto

Toimeksiantajan robotti on Yaskawan YR-EA1900N-B00, jossa on NX100- ohjausjärjestelmä (kuvio 5). Robottiin kuuluu Yaskawan TSL-lineaarivaunu, jolla robotti pääsee liikkumaan 4000 mm sivusuunnassa käsittelypöytään nähden. Robottiin kuuluu myös Yaskawan R2L kaksi-puolinen L-pöytä, jossa yksi puoli on robotin käytössä kerrallaan. Robottiin on kytketty Fronius TPS 5000 hitsauslaite.

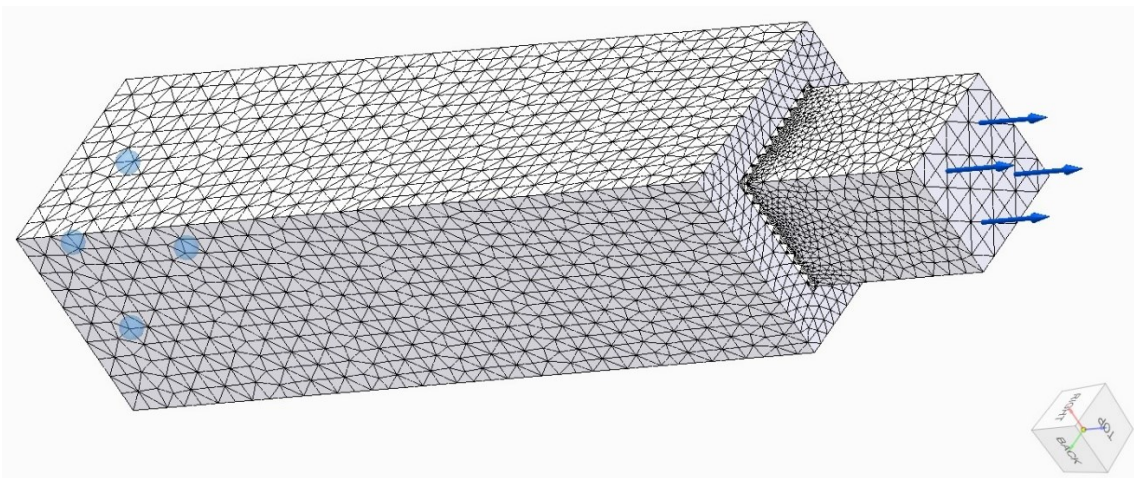


Kuvio 5. Toimeksiantajan robotti ja sen L-pöydät (Pirkanmaan Levytyö, 2022).

3.2 FEM-analyysi

Elementtimenetelmä, jota kutsutaan myös nimellä FEM (Finite Element Method), on numeerinen menetelmä, jolla saadaan ratkaistua lujuuteen sekä lämpötilaan liittyviä ongelmia erityyppisissä rakenteissa (Kurowski, 2017, 1–7.). FEM-analysointia varten tarvitaan 3D-malli kappaleen geometriasta, reunaehdot, kuten voimat ja kiinnitykset sekä materiaalitiedot.

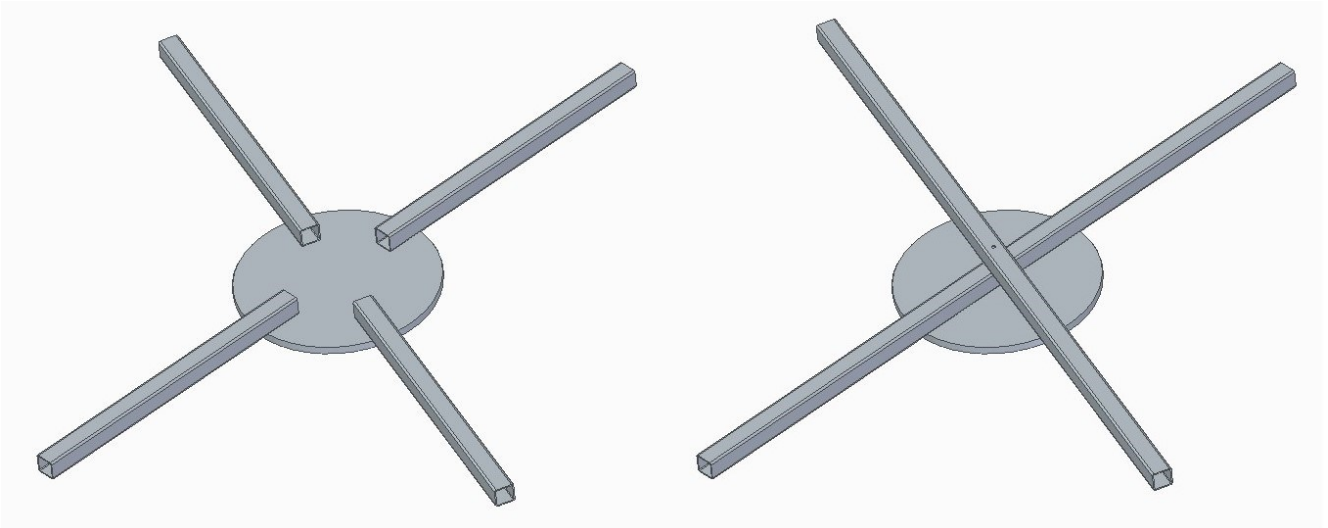
Ennen analysointia kappale pitää verkottaa (kuvio 6), eli jakaa pieniin osiin, joita sanotaan elementeiksi (Kurowski, 2017, 12). Verkotus tarvitaan laskennan yksinkertaistamiseen, sillä monimutkaisen kappaleen kuvaaminen yhdellä yhtälöllä olisi äärimmäisen haastavaa, mutta jakamalla kappale pieniin osiin voidaan käyttää reilusti yksinkertaisempaa matematiikkaa. Verkotuksen jälkeen tietokone laskee elementti kerrallaan kappaleen analyysin. Jokaisessa kappaleessa tai elementissä oletetaan sopiva likimääräinen ratkaisu ja johdetaan rakenteen kokonaistasapainon ehdot (Rao, 2018, s. 3). Näiden ehtojen täytyminen antaa likimääräisen ratkaisun siirtymille ja jännityksille.



Kuvio 6. Kappale, johon on lisätty verkotus ja reunaehdot (Solid edge, 2022).

3.3 Kiinnittimen suunnittelu ja testaus

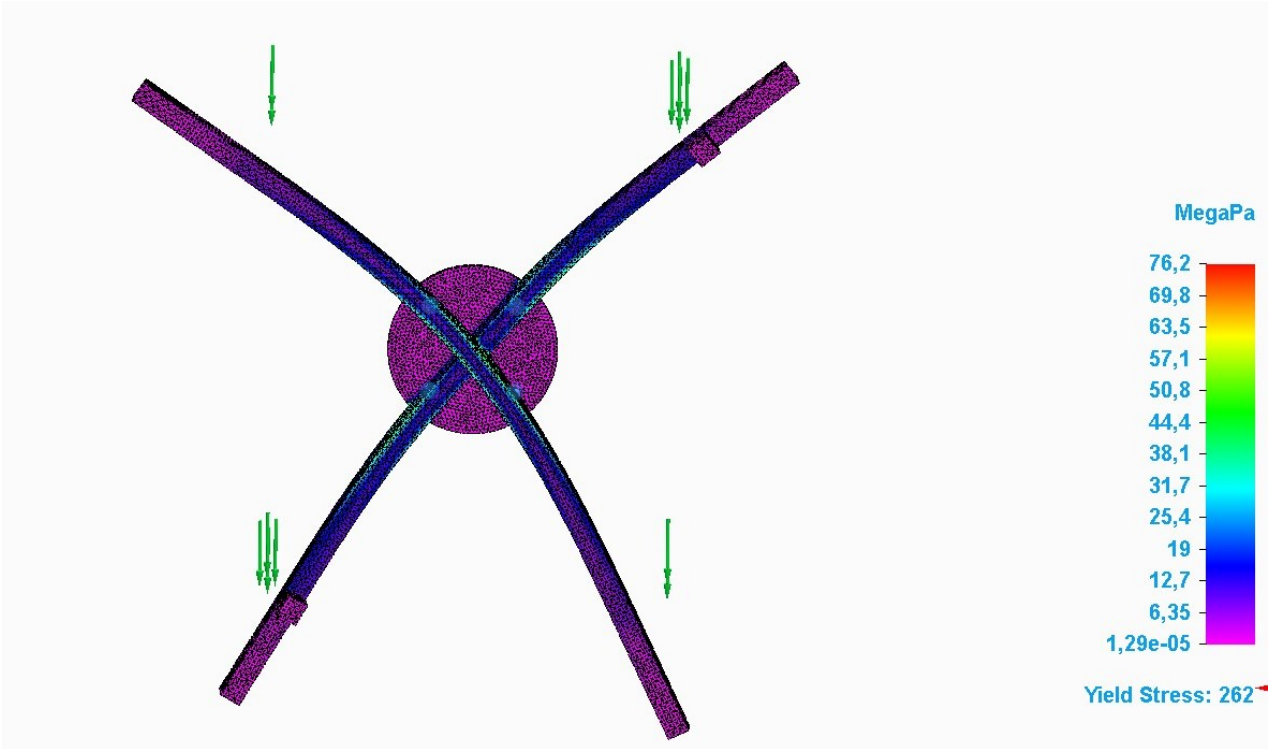
Toimeksiantajalla on huomattavasti suurempia altaita, joita olisi voitu hitsata robotilla, mutta ongelmaksi osoittautui tuotteen liikuteltavuus robotin L-pöydällä. Pöydälle ei keskitetysti mahdu pyörimään yli 1500 mm leveä kappale, ja se asettaa vaatimuksen joko epäkeskisestä kiinnittimestä tai pienemmistä kiinnittimeen sopivista kappaleista. Koska epäkeskistä kiinnitintä ei saada pyöritettyä ympäri asti joka rajoittaisi kaikkien altaiden hitsausta, päätettiin kiinnittimen suunnitella keskeiseksi pöydän pyöritystasolle. Kiinnittimen osien raaka-aineeksi käytettiin 50x50x3 putkipalkkia, jolle kehitettiin kaksi vaihtoehtoista kiinnitystapaa (kuvio 7) Niistä valittiin oikeanpuoleinen vaihtoehto, koska se on yksinkertaisempi, kestävämpi ja nopeampi toteuttaa.



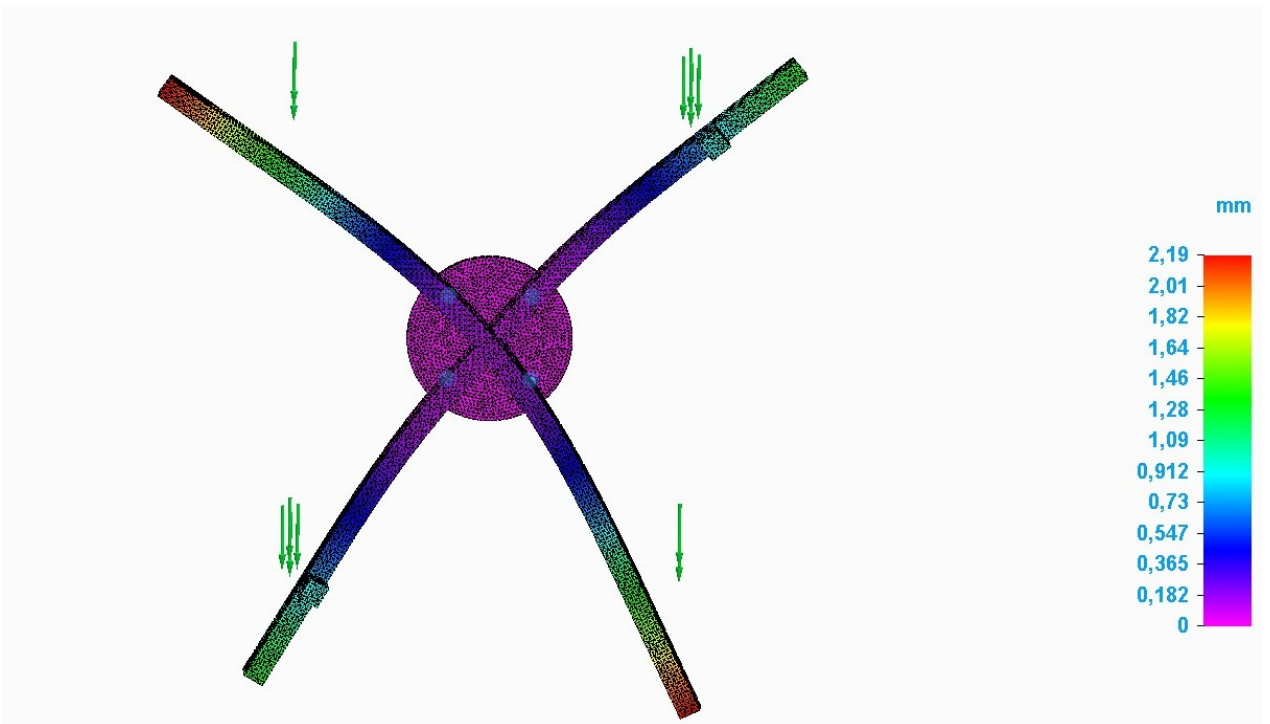
Kuvio 7. Kiinnittimen vaihtoehtoiset ratkaisut (Jämsä, 2022).

Tuotetta robotilla hitsattaessa, pitää L-pöytää käännellä moniin eri asentoihin, jotta robotti pääsee joka sauman hitsaamaan parhaassa hitsausasennossa kestävien saumojen takaamiseksi. Tämän vuoksi on kiinnittimen kestävyyttä hyvä testata etukäteen, jotta voidaan olla varmoja sen kestävydestä käytössä, varsinkin jos tuotteella on kymmeniä, jos ei satoja kiloja painoa.

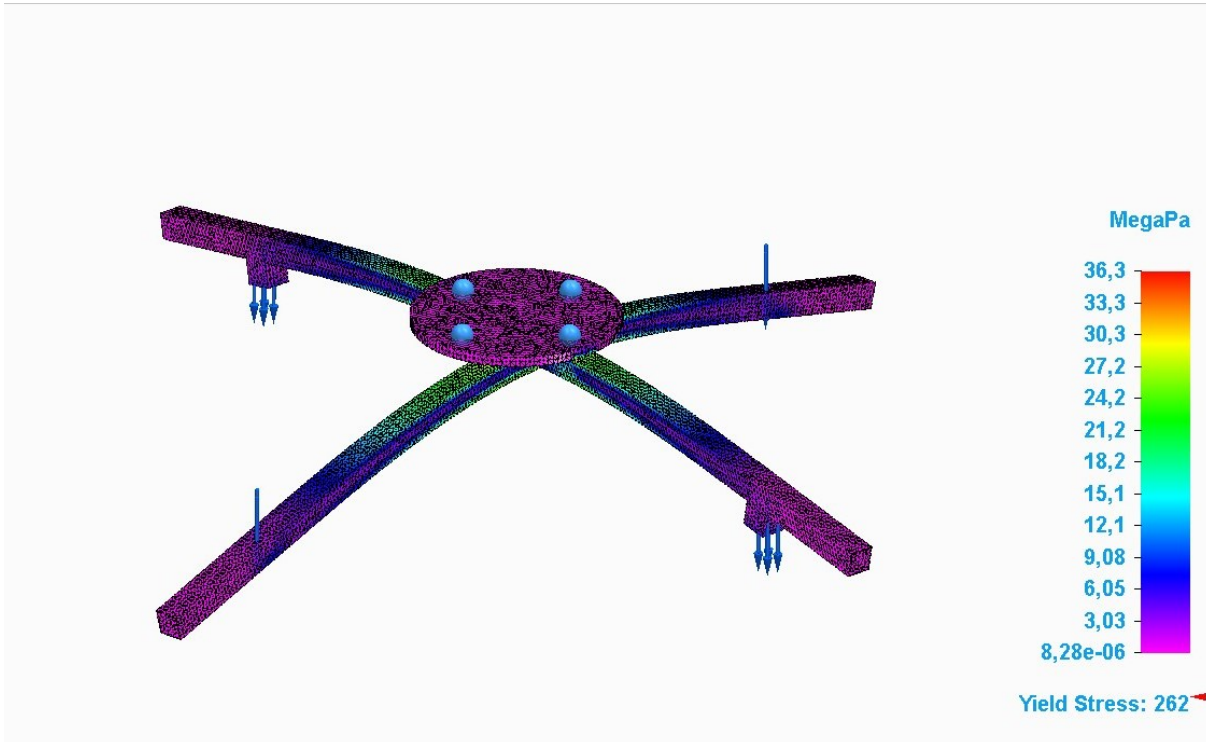
Kiinnittimelle tehtiin muutamissa eri asennoissa kuormitustestejä, jotta saatiin varmistettua kiinnittimen kestävän käytössä vääntymättä tai murtumatta. Ensin testattiin todellisella tuotteen painolla ja sitten ylikuormalla siihen asti, että saatiin määritettyä pysyvän muodonmuutoksen kuorma, jolla kiinnitin tulisi todennäköisesti vääntymään käytössä. Testit tehtiin kahdessa asennossa, jossa kiinnitin olisi suurimman kuorman alaisena, eli ylösalaisin riippuessa sekä pystyasennossa.



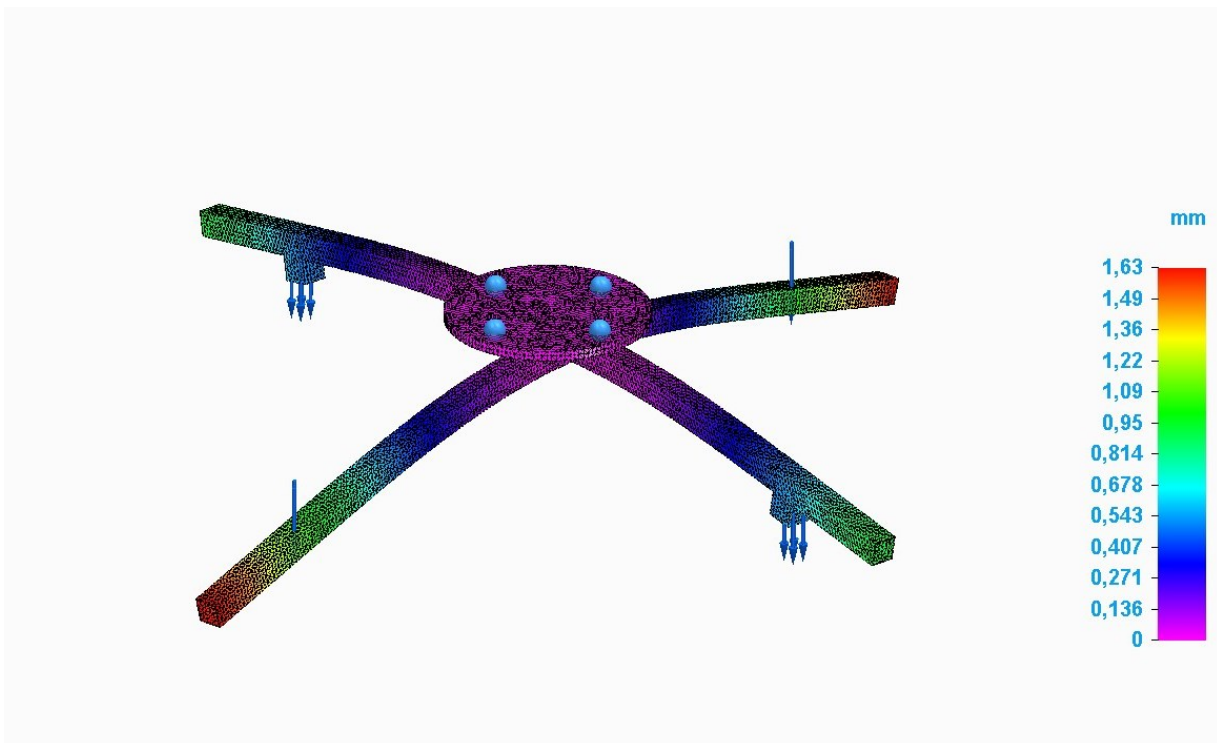
Kuvio 8. Pystyssä oleva allas, 2kN jännitys (Solid edge, 2022).



Kuvio 9. Pystyssä oleva allas, 2kN taipuma (Solid edge, 2022).



Kuvio 10. Riippuva allas, 2kN jännitys (Solid edge, 2022).



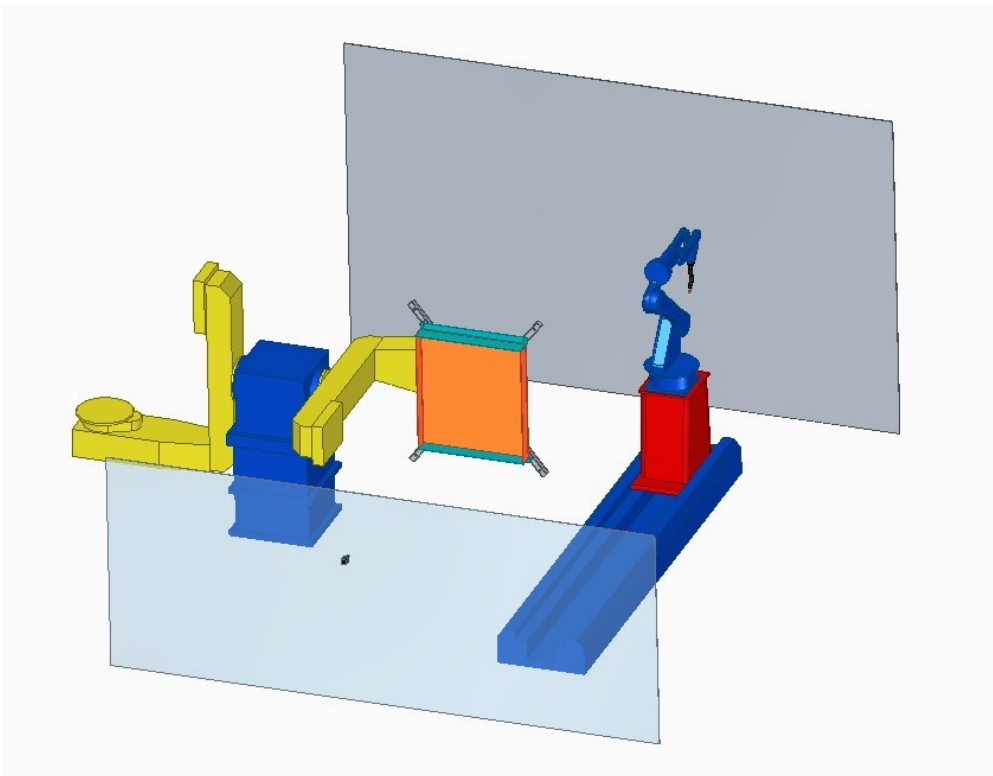
Kuvio 11. Riippuva allas, 2kN taipuma (Solid edge, 2022).

Kuvioissa 8–11 testattiin altaan painoilla kiinnittimen kestävyttä, ja kuvioista voidaan todeta, että altaan painolla kiinnitin tulee kestävämpään. Varmuuskerroinluvaksi määritettiin 5, joka riittää tähän tarkoitukseen. Taipuman mittaaminen oli myös tärkeää, koska robotilla hitsattaessa

kappaleen siirtymä aiheuttaa hitsaussaumojen epäonnistumista, mutta noin kahden millin siirtymä ei vielä tuota ongelmia.

3.4 Kameran komponenttien valinta

Kameraa valittaessa pitää ensin laatia kameralle täytettävät kriteerit, jotta saadaan rajattua sopiva kamera yritykselle. Kiinnitys pitää tehdä seinään, josta kuvataan vaakasuorassa linjassa robotin kulmapöydällä pystyasentoon käännettyä allasta (kuvio 12). Tällä tavalla saamme kuvattua ja mitattua sen äärimitat. Toimeksiantajan suurimman altaan koko on maksimissaan 1600 mm leveä ja 1300 mm korkea. Koska altaat tulevat kiinnittimeen kiinni keskitetysti, paikoitustarkkuus pysyy viiden millin sisällä, joten kappaleen paikoitustarkkuutta ei erikseen lisätä laskuihin. Kehystä on näin pitkän matkan päähän hyvä laskea vähän enemmän, jotta kameran paikoitus seinässä saa hieman pelivaraa, joten lasketaan siihen 100 mm:n kehys, ja mitat kasvavat 1800 mm:n leveyteen ja 1500 mm:n korkeuteen. Kameran kuva-suhteen 4:3:n mukaan leveyttä kasvatetaan vielä 2000 mm:n asti, jolloin lopulliset mitat kuvausalueelle ovat 1500x2000mm.



Kuvio 12. Kuvaustilanne, jossa kuvan alareunassa, läpinäkyvässä seinässä oleva kamera kuvaa altaan toista seinää vasten (Pirkanmaan Levytyö, 2022).

Toimeksiantajan kameralla kuvataan vain paikallaan olevia kohteita suoraan edestäpäin, joten skannaustyypiksi valitaan alueskannauskamera. Kuvausnopeudella ei ole tässä tilanteessa tuolla kameroiden nopeuskaalalla merkitystä. Sillä ei ole väliä, kuluttaako se kuvaamiseen aikaa 0,2 sekuntia vai 0,5 sekuntia, kun otetaan vain yksi kuva ja kuvausaika on vain pieni osa altaan hitsausprosessista. Altaiden mittauksille halutaan 4 mm tarkkuus, jotta voidaan varmistaa mittojen olevan riittävän tarkkoja altaiden kokojen vaihdellessa minimissään 20 mm. Pienimmäksi mitattavaksi piirteeksi asetetaan 2 mm, jonka alueelle osuu 2 pikseliä, jotta tarkkuus riittää toleranssiin. Näiden perusteella voidaan kaavoja 1 ja 2 apuna käyttäen laskea kameran resoluutio leveyssuunnassa:

$$R_{C1} = \frac{FOV_1}{R_S} = \frac{FOV_1}{\frac{S_f}{N_f}} = \frac{2000mm}{\frac{2mm}{2\text{pikseliä}}} = \frac{2000}{1} = 2000px \quad (6)$$

Missä

R_{C1} on kameran resoluutio leveyssuunnassa [pikseli]

FOV_1 on kuvausalue leveyssuunnassa [mm]

R_S on erotustarkkuus [mm/pikseli]

S_f on pienimmän piirteen koko [mm]

N_f on pienimmän piirteen alueelle osuvien pikseleiden määrä [pikseli]

Ja kameran pystysuunnan resoluutio saadaan laskettua samalla kaavalla:

$$R_{C2} = \frac{FOV_2}{R_S} = \frac{FOV_2}{\frac{S_f}{N_f}} = \frac{1500mm}{\frac{2mm}{2\text{pikseliä}}} = \frac{1500}{1} = 1500px \quad (7)$$

Missä

R_{C2} on kameran resoluutio pystysuunnassa [pikseli]

FOV_2 on kuvausalue pystysuunnassa [mm]

Kaavojen 6 ja 7 tuloksina saadaan kameran vähimmäisresoluutioksi 2000x1500 pikseliä. Toimeksiantajalla on yksi kameran sovellus jo käytössä, ja sitä käytetään sorvin kappalevaihdossa. Hitsaussoluun valittiin sama ohjelmisto, koska ohjelma on toiminut hyvin ja sillä on jo valmiiksi osaavia käyttäjiä. Konenäköjärjestelmä on Omronin FH-sarjaa ja kameraksi valittiin Omronin FHV7H-M063R-C. Kameraksi valittiin mustavalkokamera, koska ne ovat tarkempia ja nopeampia, kuin värikamerat (Teledyne lumenera, 2016). Kameran valintaa rajasi myös RS-232 yhteys, joka oli toimeksiantajan toiveena yhteydeksi, sekä toimeksiantaja halusi kokeilla vähän uudempaa kameraa tähän soluun. Kamerasta tilattiin valmis asennuspaketti, jossa osaava henkilöstö asentaa ja testaa kameran toiminnan valmiiksi, mikä on yleisempi tilausmuoto nykyään verrattuna komponenttien yksittäiseen tilaamiseen (V. Kunelius, henkilökohtainen tiedonanto, 7.9.2021).

| | |
|---------------------------|--|
| Number of pixels | 6.3 MP |
| Camera with lens | No |
| Communication port(s) | EtherNet/IP, Ethernet TCP/IP, PROFINET Slave, Serial RS-232C |
| Communication option(s) | EtherCAT Slave |
| Camera family | FHV |
| Camera type | Monochrome |
| Frame rate | 59 fps |
| Illumination | None |
| Image width | 3072 pixels |
| Image height | 2048 pixels |
| Pixel size | 2.4 μm |
| Shutter type | Rolling |
| Image sensor format | 1/1.8" |
| Image sensor type | Other |
| Lens mount | C-mount |
| Degree of protection (IP) | IP40 |

Kuvio 13. Kameran tekniset tiedot (mukaillen Omron, i.a.)

Kuvaustilanteessa kameran sensorin ja altaan hitsauskiinnittimen välinen etäisyys on 3250 mm, joka pysyy vakiona jokaisella altaalla sen korkeudesta riippumatta, koska altaat tulevat samalta tasolta pohjastaan kiinni. Tällä työskentelyetäisyydellä lasketaan kaavoilla 3, 4 ja 5 tilanteeseen sopiva linssi. Pikselin koon ja pikseleiden määrän leveyssuunnassa saadaan kuvio 13, joten sijoitetaan ne kaavaan 5:

$$\text{Sensorin leveys } C_W = 2,4 \mu\text{m} * 3072 \text{ pikseliä} = 7372,8 \mu\text{m} = 7,3728\text{mm} \quad (8)$$

Kaavasta 8 saatu sensorin leveys sijoitetaan nyt kaavaan 4:

$$\beta = -\frac{C_W}{FOV} = -\frac{7,3728\text{mm}}{2000\text{mm}} = -0,0036864\text{mm} \quad (9)$$

Kaavasta 9 saatu suurennos sijoitetaan nyt kaavaan 3:

$$f' = a * \frac{\beta}{1-\beta} = 3250\text{mm} * \frac{-0,0036864\text{mm}}{1+0,0036864\text{mm}} = 11,9367961\text{mm} \approx 12\text{mm} \quad (10)$$

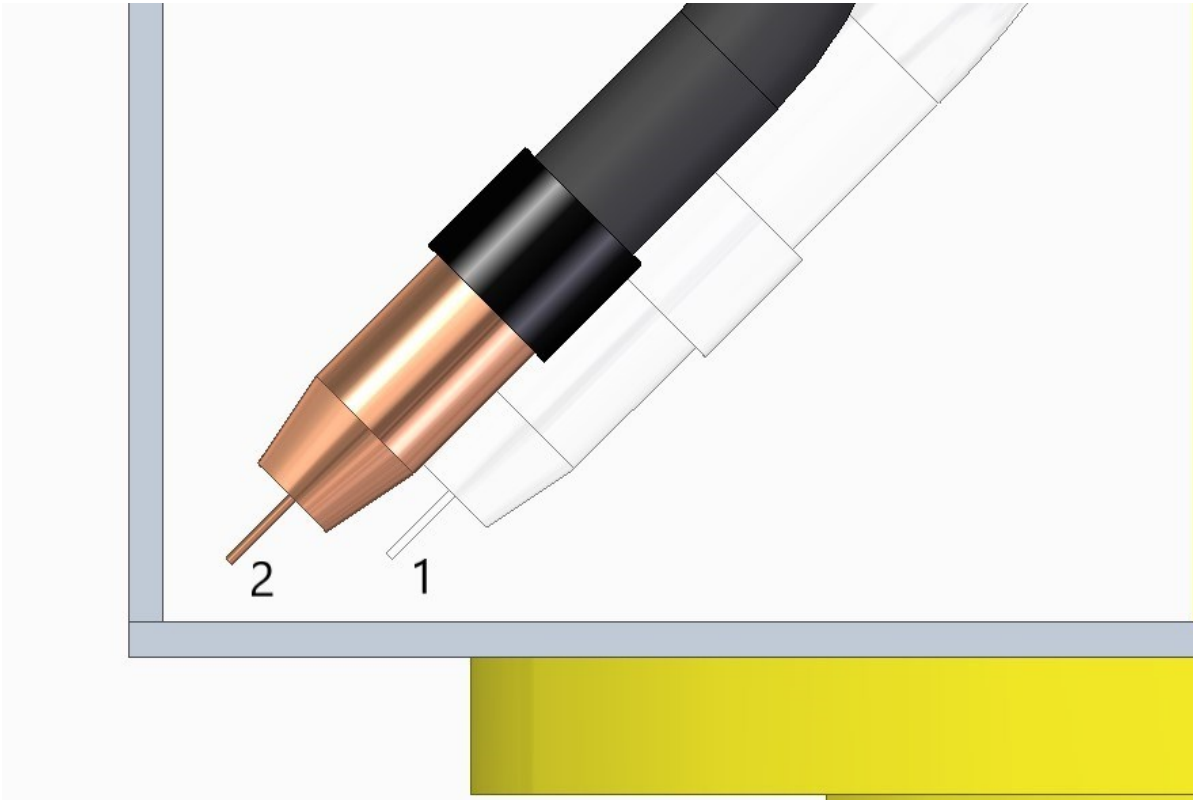
Linssin polttoväliksi saadaan kaavan 10 tuloksena 12 mm, ja sen perusteella linssiksi valittiin Omronin 3Z4S-LE SV-1214V. Kaavalla 11 laskemalla saa linssille tarkan kuvausetäisyyden, joka on tässä kuvauskohteessa 3267 mm. Se on 17 mm enemmän kuin suunniteltu etäisyys, mutta näin pienen etäisyseron saa kameran kiinnityksellä säädettyä.

$$a = f' * \frac{1-\beta}{\beta} \quad (11)$$

Altaiden kuvaustilanteen valaistustavaksi valitaan taustavalaistus, koska se korostaa parhaiten kappaleen ääriivivoja ja ne saadaan näin mitattua mahdollisimman tarkasti. Valaistus toteutetaan kahdella eri LED-valaisimella altaan kahdelta sivulta, jotta tausta valaistuu riittävän tasaisesti. Tiettyä valaisinta tähän ei määritellä, koska valaisimen vaatimukset ovat niin pienet, että tilanteeseen sopivat lukuisat erilaiset valaisimet.

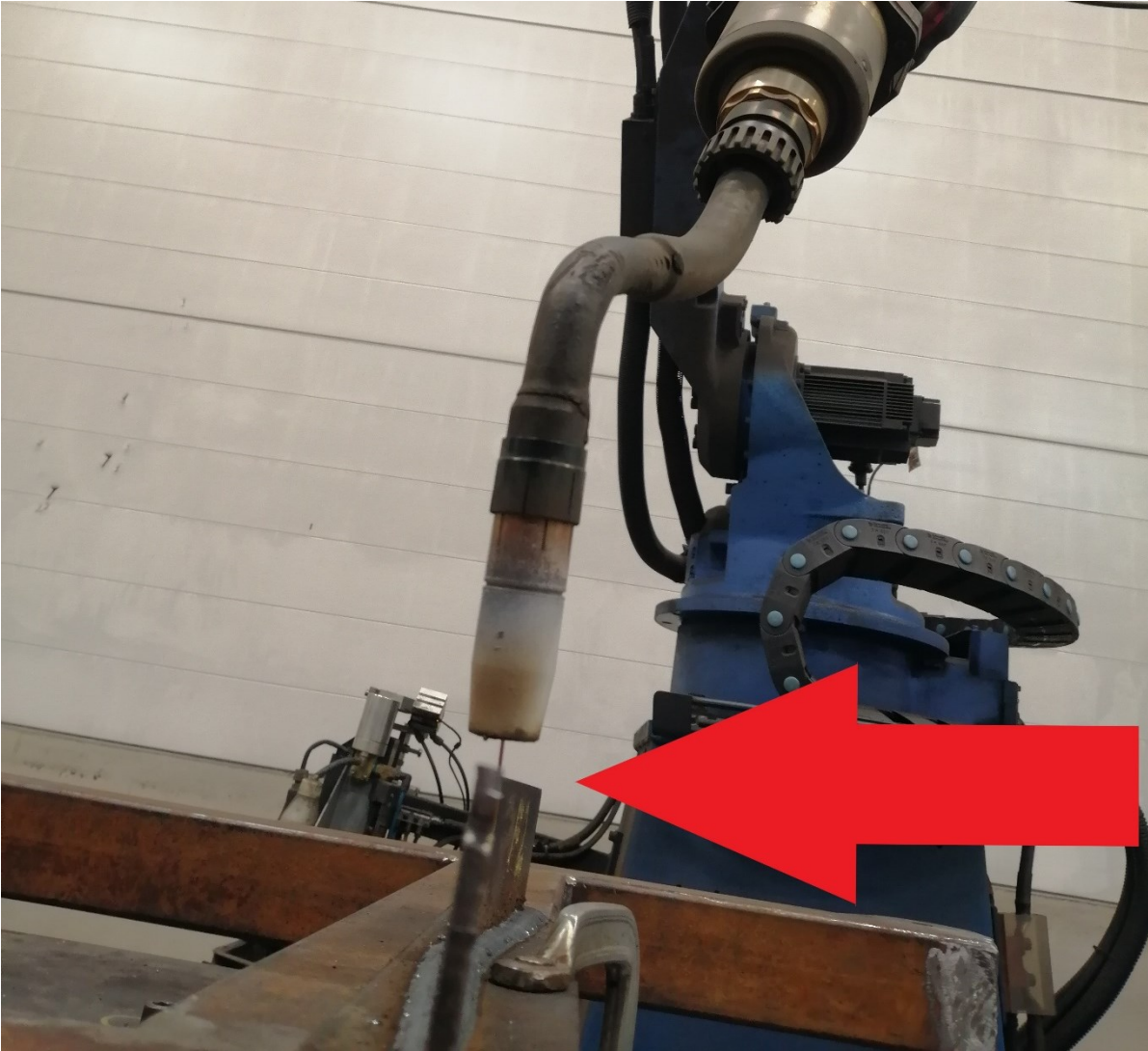
3.5 Tunnistusohjelma

Toimeksiantajan robotilla oli jo tämän opinnäytetyön alussa käytössä Motoman Comarc -railonhakuohjelmisto, jolla korjataan pieniä paikoituseroja kappaleita hitsattaessa. Robotille tehdään hitsausohjelma, jossa määritetään railonhakupisteillä hitsattavien kappaleiden sijainnit. Seuraavia, vastaavia tuotteita hitsattaessa robotti hakee hakuohjelman avulla kappaleiden muuttuneet sijainnit. Ohjelma hakee ennalta tallennettujen pisteiden muutoksen arvoa mitattuihin pisteisiin nähden ja muuttaa seuraavien pisteiden sijaintia tämän muutoksen arvon suhteen. Kuviossa 14 nähdään robotin pisteen sijainti ennen hakuohjelmaa kohdassa 1 ja hakuohjelman jälkeen kohdassa 2.



Kuvio 14. Kohdassa 2 hakuohjelman ajon jälkeen siirtynyt hitsauspoltin, kohta 1 ennen hakuohjelman ajoa (Jämsä, 2022).

Toimeksiantajan ongelma ratkaistiin tekemällä ensin pääohjelma, joka kääntää kiinnitetyn altaan L-pöydällä panostuspuolelta robotin puolelle ja käynnistää altaiden hakuohjelman. Hakuohjelman alussa robotti katkaisee polttimen päästä vapaalangan pituuden vakiomittaan ja siirtää polttimen pystysuoraan altaan vasemmalle puolelle sen yläreunan tasalle. Robotti skannaa suoraviivaisella liikkeellä allasta kohti, kunnes vapaalanka osuu altaaseen ja liike pysähtyy. Tunnistuskohdan koordinaattien perusteella robotti valitsee kyseisen altaan hitsausohjelman ja vaihtaa tämän hitsausohjelman päälle. Hitsattuaan altaan ohjelma palauttaa takaisin pääohjelmaan ja vaihtaa panostuspuolelta uuden altaan hitsattavaksi. Kuvassa 4 testikappale tunnistettiin, minkä jälkeen robotti siirtyi kyseisen kappaleen hitsausohjelmaan.



Kuva 4. Robotilla haetaan kuvan nuolen osoittamasta suunnasta ja kuvanottohetkellä robotti on saanut kosketuksen kappaleesta (Pirkanmaan Levytyö, 2022).

3.6 Testaaminen

Ohjelman testikappaleina käytettiin kahta pienakoekappaletta, jotka esittivät kahta eri allasta. Näille oli tehty omat hitsausohjelmat. Toinen kappale asetettiin 5 mm aluslevyn päälle. Robottin skannattaessa ensimmäisen ohi, se törmää toiseen. Ensimmäisen testikappaleen haku toteutettiin vakiovapaalangalla, mutta toista kappaletta haettaessa vapaalankaa lyhennettiin 5 mm, jotta robotti skannaa ensimmäisen kappaleen ohi. Molempiin testikappaleisiin törmättyään robotti vaihtoi oikean ohjelman päälle, joten testi voitiin tulkita onnistuneeksi. Kuvassa 5 näkyy testaustilanne, jossa robotti on törmännyt ensimmäiseen kappaleeseen.



Kuva 5. Ohjelman testikappaleina käytettiin kahta pienakoe kappaletta, jotka esittivät kahta eri allasta (Pirkanmaan Levytyö, 2022).

4 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli nopeuttaa toimeksiantajan altaiden hitsausta ja saada robotin ohjelmien hitaaseen etsimiseen ratkaisu. Tutkimuksen perusteena olivat hitaat menetelmät altaita käsin hitsattaessa ja robotin kankea käyttö vaihtelevilla tuotteilla. Opinnäytetyössä suunniteltiin robotille yleiskiinnitin, jolla altaat saa hitsattua samalla kiinnityksellä. Robotille tehtiin pääohjelma, jolla se tunnistaa altaan ja valitsee sille oikean hitsausohjelman. Kappaleen tunnistaminen oli tämän opinnäytetyön alussa tarkoitus suorittaa kameran avulla, mutta kameran puuttumisen takia päätettiin tunnistaminen suorittaa jo olemassa olevilla menetelmillä.

Työ alkoi kamerajärjestelmiin ja konenäköön perehtymällä ja jatkui kiinnittimen suunnittelulla sekä testauksella. Tämän jälkeen määriteltiin minkälainen kamerajärjestelmä toimeksiantajalle kannattaisi valita. Lopuksi kehitettiin yritykselle ratkaisu altaiden hitsaukseen, jossa selvittiin yrityksen jo olemassa olevalla laitteistolla. Työssä haastavaa oli aiheen rajaaminen. Kameran aiheeseen liittyen esimerkiksi kalibrointiin, testaamiseen tai kuvaamiseen ei perehdytty ollenkaan.

Lopputuloksena yritys sai toimivan ratkaisun altaiden robottihitsaukseen sekä suunnitellun kamerajärjestelmän, jonka voi asentaa tulevaisuudessa. Kappaleen tunnistus suoritettiin railonhakuohjelman lankahauulla, jolla ohjelma osaa tunnistuksen jälkeen vaihtaa kappaleen hitsausohjelman. Yritys sai myös paljon uutta tietoa konenäkömahdollisuuksista robottihitsauksen apuvälineenä ja aikoo tulevaisuudessa soveltaa tätä tietoa myös muille tuotteille. Työn avulla yritys voi laajentaa hakuohjelman käyttöä muiden kappaleiden hitsausohjelmille, joka tuo tehokkuutta ja robotin itsenäisyyttä. Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista vielä selvittää, onko säiliöitä jollain tasolla mahdollista hitsata tällä laitteistolla, vai jääkö säiliöistä hitsaamattomia hitsaussaumoja robotin sekä L-pöydän geometrian vuoksi.

Työ eteni aluksi hyvin, mutta ennalta-arvaamattomat sairauspoissaolot hidastivat työtahtia vääjäämättömien sijaisuustehtävien vuoksi. Opinnäytetyön tekijällä oli hieman aiempaa kokemusta kyseisen robotin kiinnittimien suunnittelusta, joka helpotti hahmottamaan yksinkertaisimpia ratkaisuja. Kiinnittimen ja hitsausohjelman suunnittelu oli mielenkiintoista, koska tietoisuus siitä, että uuden ratkaisun avulla yritys pystyy tehostamaan tuotantoaan, toi suunniteluun enemmän ulottuvuuksia ja kokonaisuus hahmottui paremmin. Konenäkökamera ja sen

oheislaitteet olivat opinnäytetyön tekijälle uusi aluevaltaus ja niihin perehtyminen toi huomattavasti lisää intoa robotiikan ja konenäön parissa työskentelyyn.

Kehittämistyön konenäköjärjestelmää ei otettu käyttöön, sillä toimeksiantajalla ei ollut tämänhetkistä tarvetta kameralle, koska sille edellytetään myös kannattavuuslaskemat ennen mahdollista investointia. Työssä saavutettiin kuitenkin haluttu lopputulos käyttämällä kappaleiden tunnistamisessa hitsausrobotissa jo olevaa hitsauslangan railonhakujärjestelmää.

LÄHTEET

- Aalto, H., Heilala, J., Hirvelä, T., Kuivanen, R., Laitinen, M., Lehtinen, H., Lempiäinen, J., Lyylynoja, A., Renfors, J., Selin, K., Siintoharju, T., Temmes, J., Tuovila, T., Veikkolainen, M., Vihinen, J., & Virtanen, A. (1999). *Robotiikka*. Talentum.
- AI Journal. (i.a.). *Image processing*. <https://aijournal.com/what-is-machine-vision-everything-you-need-to-know/>
- Dummer, A. (2016). *Photographic studio* [valokuva]. Wikimedia commons. [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Photographic_studio_\(Unsplash\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Photographic_studio_(Unsplash).jpg)
- Genesis systems. (i.a.). *Robotic Welding Programming Challenges and Best Practices*. <https://www.genesis-systems.com/blog/robotic-welding-programming-challenges-and-best-practices>
- Genesis systems. (i.a.). *The Role of Machine Vision in Industrial Robotics*. <https://www.genesis-systems.com/blog/role-machine-vision-industrial-robotics>
- Hornberg, A. (2006). *Handbook of machine vision*. Wiley-vch.
- Hänninen, P. (2022). *Robotiikka ja tekoäly*. Tammertekniikka.
- International Federation of Robotics (IFR). (2017). *Industrial robots*. https://ifr.org/downloads/press/WR_Industrial_Robots_2017_Chapter_1.pdf
- International Organization for Standardization (ISO). (2012). *Robots and robotic devices*. (ISO Standard No. 8373:2012). <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-2:vi:en>
- Keyence. (i.a.). *Advantages of introducing image processing*. <https://www.keyence.com/ss/products/vision/visionbasics/use/inspection03/>
- KUKA. (2005). *Factory Automation Robotics Palettizing Bread* [valokuva]. Wikimedia commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Factory_Automation_Robotics_Palettizing_Bread.jpg
- Kurowski, P. M. (2017). *Finite element analysis for design engineers (Second edition.)*. SAE International.
- Lexico. (i.a.). Haettu 17.4.2022, https://www.lexico.com/definition/machine_vision
- Merriam-webster. (i.a.). Haettu 22.4.2022, <https://www.merriam-webster.com/dictionary/robot>
- Omron. (i.a.). *Tuotteet*. <https://industrial.omron.fi/fi/products/FHV7H-M063R-C>

Pirkanmaan Levytyö. (i.a.). *Pirkanmaalainen perheyryitys vuodesta 2002*. https://www.pirkanmaanlevytyo.fi/?page_id=188

Rao., & Sigiresu, s. (2018). *Finite Element Method in Engineering (Sixth edition.)*. Elsevier.

Robot Institute of America. (1979). *Introduction to robotics*.

Serych. (2006). *CCD in camera* [valokuva]. Wikimedia commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CCD_in_camera.jpg

Solid edge. (i.a.). <https://solidedge.siemens.com/en/>

Teledyne Lumenera. (31.3.2016). *When monochrome cameras are the best solution*. <https://www.lumenera.com/blog/monochrome-cameras>