SeAMK

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Joni Tuomaala

Staattori- ja roottorilevyjen ladonta robotilla

Opinnäytetyö
Kevät 2023
Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Joni Tuomaala

Työn nimi: Staattori- ja roottorilevyjen ladonta robotilla

Ohjaaja: Toni Luomanmäki

Vuosi: 2023 Sivumäärä: 43 Liitteiden lukumäärä: 1

Työn toimeksiantajana toimi ABB Oy:n IEC LV Motors -yksikkö Vaasasta, joka kehittää ja valmistaa pienjännitesähkömoottoreita kaikille teollisuudenaloille ja erilaisiin sovelluksiin maailmanlaajuisesti. Työn tarkoitus on automatisoida nykyään manuaalisesti tehtävä työ suoritettavaksi teollisuusrobotilla.

Työn tavoitteena oli suunnitella ja verifioida toimiva robottisolukokonaisuus, jossa ohuita levyjä voidaan pinota prässin makasiiniin robotin ja konenäön avulla. Tärkeänä asiana pidettiin robotin tarttujan suunnittelua ja testausta, koska levyjä pitää saada poimittua useampi levy kerralla, jotta työvaihe pysyisi samassa syklissä prässin kanssa. Tarttujaa voitaisiin monistaa myös muihin saman tyylisiin työvaiheisiin.

Teoriaosuudessa kerrotaan teollisuusroboteista ja konenäöstä sekä yleisimmistä tarttujamalleista. Käytännön työt aloitettiin solun mallintamisella ja simuloinnilla. Simuloimalla solu saatiin varmistettua suunnitellun robotin ja oheislaitteiden sopivuus soluun sekä laskettua prosessin sykliaika. Mallinnus- ja simulointiosuuden jälkeen käydään läpi tarttujan suunnittelu ja testaus. Lopuksi tarkastellaan konenäön kuva-analyysiä. Työn tavoitteisiin päästiin ja lopputuloksena saatiin verifioitua toteutettavissa oleva ja toimiva automaatiosolu kohdeyritykselle.

[1] Asiasanat: robotiikka, konenäkö, robottitarttuja, simulointi

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Machine Automation

Author: Joni Tuomaala

Title of thesis: Placing the stator and rotor plates with a robot

Supervisor: Toni Luomanmäki

Year: 2023 Number of pages: 43 Number of appendices: 1

The thesis was commissioned by ABB Oy, IEC LV Motors unit from Vaasa, which develops and produces low voltage electric motors for all industries and various applications worldwide. The purpose of the thesis was to replace the current manual work with an industrial robot.

The aim of the thesis was to design and verify a functioning robot cell where thin plates can be stacked into the magazine of the press with the help of a robot and machine vision. The design and testing of the robot's gripper were considered important because the robot needed to be able to pick up several plates at once to keep the work phase in the same cycle with the press. The gripper model could also be duplicated for other work phases of the same style.

The theoretical part discussed industrial robots and machine vision, as well as the most common gripper models. The practical work was started by modeling and simulating the cell. By simulating the cell, the suitability of the designed robot and peripherals for the cell was verified, and the cycle time of the process was calculated. After the modeling and simulation part, the design and testing of the gripper was reviewed. Finally, machine vision image analysis was discussed. The aims of the thesis were reached, and as the result there was a verified, feasible and functional automation cell for the target company.

[1] Keywords: robotics, machine vision, robot gripper, simulating

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä 2
Thesis abstract 3
SISÄLTÖ 4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo 6
Käytetyt termit ja lyhenteet 8
1 JOHDANTO 9
1.1 Työn tausta 9
1.2 Työn tavoitteet 10
1.3 Työn rakenne 10
1.4 Yritysesittely 10
2 TEOLLISUUSROBOTIT 11
2.1 Määritelmä ja rakenne 11
2.2 Yleisimmät käyttötarkoitukset 11
2.3 Robotin ohjelmointi 12
2.4 IRB 4600 -teollisuusrobotti 12
3 ROBOTIN TARTTUJAT 14
3.1 Pneumaattinen tarttuja 14
3.2 Servo-sähköinen tarttuja 15
3.3 Sähkö-ohjattu magneettitarttuja 16
4 KONENÄKÖ 17
4.1 Konenäköjärjestelmän menetelmät ja toimintaperiaate 17
4.2 Kameran valinta 18
4.2.1 Resoluutio 19
4.2.2 Kameran nopeus 19
4.2.3 Perinteinen konenäköjärjestelmä vai älykamera? 19
4.2.4 Väri- vai harmaasävykamera? 20
4.3 Optiikka 20
4.4 Valaistus 20
4.5 Viivakamerat 22

5 SOLUN MALLINNUS JA SIMULOINTI 23
5.1 Nykyinen layout 23
5.2 Suunniteltu layout 23
5.3 Ohjelmointi 24
5.3.1 RAPID-ohjelmointikieli 24
5.3.2 Robotin ohjelmointi konenäön kanssa 25
5.4 Työkierron simulointi 26
5.4.1 Tarttujan tarkastelu 26
5.4.2 Robotin tarkastelu 27
5.4.3 Prosessin läpimenoaika 28
6 TARTTUJAN SUUNNITTELU JA TESTAUS 29
6.1 Tarttujan sormet 29
6.2 Levyjen nosto 30
6.3 Huomioita tarttujan toteuttamiseen 33
6.3.1 Varmistus levyjen viennissä 34
6.3.2 Pinojen viimeiset levyt 35
7 KUVA-ANALYYSI 36
7.1 Levypinojen paikannus 36
7.2 Levyjen virheasentojen tarkastelu 37
8 YHTEENVETO JA TULOKSET 39
LÄHTEET 41
LIITTEET 43

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Prässin levymakasiini. 9

Kuva 2. 6-nivelinen teollisuusrobotti. 11

Kuva 3. IRB 4600/60 -teollisuusrobotti. 13

Kuva 4. 2-leukainen pneumatiikkatarttuja. 14

Kuva 5. Servo-sähköinen 2-sormitarttuja. 15

Kuva 6. Sähkö-ohjattu magneettitarttuja. 16

Kuva 7. Nykytilanne kohteessa. 23

Kuva 8. Levyt voivat joskus olla huonosti pinossa. 25

Kuva 9. Schunk PZN 100/1 -tarttuja. 29

Kuva 10. 3D-tulostetut tarttujan sormet. 30

Kuva 11. Suojapellit sormien tartuntapinnalla. 30

Kuva 12. Seinäjoen ammattikorkeakoulun robotiikan laboratoriossa sijaitseva IRB 2400 - teollisuusrobotti. 31

Kuva 13. Tarttuja kiinni asennossa (ylempi kuva), tarttuja auki-asennossa (alempi kuva). 32

Kuva 14. Tarttujan voima riitti myös levyjen nostamiseen. 33

Kuva 15. Tavallisilla magneeteilla kokeiltiin estää viimeisen levyn tipahtaminen. 34

Kuva 16. Tarttuja ajettuna poimimaan pinon viimeisiä levyjä. 35

Kuvio 1. Perinteinen konenäköjärjestelmä. 17

Kuvio 2. Optiikan polttoväli. 20

Kuvio 3. Vastaväriesimerkkejä. 21

Kuvio 4. (Vasen kuva) valaistus sivulta yläviistosti, (keskellä) kuvan suunnassa alhaalta ja ylhäältä viistosti, (oikealla) suoraan alhaalta. 21

Kuvio 5. Rullatuotteen tarkastus viivakameralla. 22

Kuvio 6. Kuvakaappaus RobotStudiosta suunnitellusta layoutista. 24

Kuvio 7. Kuvakaappaus RobotStudiosta osasta tämän työn RAPID-ohjelmakoodista. 25

Kuvio 8. Kuvakaappaus RobotStudiosta. Tarttuja mahtui poimimaan levyt lavoilta ja viemään ne makasiinin tappien väliin. 27

Kuvio 9. Kuvakaappaus RobotStudiosta. Levyjen vienti makasiiniin vaatii jatkovarren tarttujalle. 28

Kuvio 10. Kuvakaappaus RobotStudiosta suunnitellusta tarttujasta. 35

Kuvio 11. Kuvakaappaus In-Sigth Explorer -ohjelmistosta. Vasemmalla kuva ilman filtteriä, oikealla kuva filtterin kanssa. 36

Kuvio 12. Kuvakaappaus In-Sigth Explorer -ohjelmistosta. Levyjen ulkoreunoja ei otettu huomioon opetetussa mallissa. 37

Kuvio 13. Kuvakaappaus In-Sigth Explorer -ohjelmistosta. Maskityökalulla rajattiin näkyviin vain levyjen ulkoreunat. 37

Kuvio 14.Kuvakaappaus In-Sigth Explorer -ohjelmistosta. Ohjelma ilmoittaa pinossa väärin olevasta levystä. 38

Taulukko 1. Yleisempiä kuvankäsittelymenetelmiä konenäössä 18

Käytetyt termit ja lyhenteet

ROI	Region Of Interest on termi, joka tarkoittaa tarkasteltavan kuvan kiinnostavaa aluetta.
OCR	Optical Character Recognition tarkoittaa tekstin tunnistamisen teknologiaa.
FOV	Field of view on käytetty termi, näkyvästä alueesta valokuvauksessa.
FPS	Frames/second on termi, joka tarkoittaa konenäössä sitä, kuinka monta kuvaa kamera pystyy käsittelemään sekunnissa.
Resoluutio	On kuvatarkkuus termi, joka tarkoittaa kuvan erottelukykyä. Yleensä yksikkönä pikseliä (kuvapistettä) pituusyksikköä kohti.
RobotStudio	ABB:n offline-ohjelmointi- ja simulointityökalu robottisovelluksiin.
Solid Edge	Tietokoneavusteinen suunnitteluohjelmisto.
SoftMove	ABB-robotteihin saatava lisäohjelmisto, jolla saadaan pehmennettyä ja nopeutettua robotin liikkeitä.
N	Newtonin, eli vääntövoiman lyhenne.
In-Sigth Explorer	Cognexin kuva-analyysiohjelmisto.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Tämän opinnäytetyön kohdeyritys oli ABB Oy:n IEC Motors -yksikkö Vaasasta, joka kehittää ja valmistaa pienjännitesähkömoottoreita kaikille teollisuudenaloille ja erilaisiin sovelluksiin maailman laajuisesti (ABB, i.a.-a). Moottoreiden staattori- ja roottorirungot kasataan useasta ohuesta levystä, joita tässä työssä käsitellään. Yrityksessä on useita prässikoneita, joilla levyjä valmistetaan.

Työssä keskityttiin yhden prässikoneen levymakasiiniin. Makasiinissa on paikka kolmelle noin 600 mm:n levypinolle, ja jokaisessa paikassa on kolme ohjaintappia, joiden keskelle levyt ladotaan (Kuva 1). Ennen prässiä on manipulaattori, joka poimii makasiinista yhden levyn kerralla prässille. Kun manipulaattori saa tyhjättyä levypinon, niin makasiini pyörähtää automaattisesti myötäpäivään ja aloittaa seuraavan levypinon poiminnan.

Kuva 1. Prässin levymakasiini (Tuomaala, 2022).

Nykytilanteessa levyjä nostetaan manuaalisesti käsin lavoilta sopiva nippu kerralla ja ne asetetaan makasiinin ohjaustankojen väliin. Poimintavaiheessa levyt täytyy myös keskittää hyvin

toisiinsa nähden, ja keskittäminen tehdään yleensä lyömällä nostettavan pinon ulkoreunaa lavaa vasten. Työvaihe on toistuva ja fyysisesti kuormittava, joten työvaiheen automatisointimahdollisuutta on päätetty selvittää.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli suunnitella ja verifioida toimiva ja turvallinen automaatiokokonaisuus ilman tuotannon keskeytymistä hyödyntämällä mallintamista, simulointia ja offline-ohjelmointia. Tarttujan suunnittelua pidettiin myös tärkeänä, koska yrityksessä on useita saman tyylisiä manuaalisesti tehtäviä työvaiheita, joihin robotin tarttujan suunnittelua voitaisiin myös hyödyntää.

1.3 Työn rakenne

Työn teoriaosassa kerrotaan teollisuusroboteista, konenäöstä ja robotin tarttujista. Teorian jälkeen käsitellään mallintamista ja simulointia. Sen jälkeen käydään läpi tarttujan suunnittelu ja testaus -osio. Tämän jälkeen tarkastellaan konenäön kuva-analyysiä. Seuraavana on vuorossa työn yhteenveto ja tulokset- osio. Lopusta löytyvät lähteet ja liitteet.

1.4 Yritysesittely

ABB:n IEC LV Motors kuuluu johtavaan globaaliin teknologiayritykseen eli ABB-yhtymään (ABB, i.a.-a). IEC LV Motors keskittyy vahvasti korkean hyötysuhteen moottoreiden tutkimukseen, tuotekehitykseen ja valmistukseen. Vaasan yksikkö kehittää ja valmistaa pienjännitemoottoreita kaikille teollisuusaloille ja kaikkiin sovelluksiin maailmanlaajuisesti. Vaasan tehtaalla työskentelee noin 600 henkilöä.

Helsingin Pitäjänmäellä sijaitsee toinen ABB:n IEC LV Motors -yksikkö, jossa valmistetaan muun muassa korkeajännitemoottoreita, dieselgeneraattoreita ja kestomagneettimoottoreita (ABB, i.a.-b). Helsingin tehtaalla työskentelee noin 900 henkilöä. Maailmanlaajuisesti ABB:n moottori- ja generaattoriliiketoiminta työllistää noin 10 000 henkeä 21 tehtaassa 7 maassa.

2 TEOLLISUUSROBOTIT

2.1 Määritelmä ja rakenne

Teollisuusrobotit ovat ohjelmoitavia 3–6-nivelisiä mekaanisia laitteita (Kuva 2). Teollisuusrobotin nivelet ovat moottorisoituja, ja ne ohjaavat robotin liikkeitä ja määrittävät sen mekaanisen vapausasteen. Robotin rakenne ja koko vaikuttavat vapausasteeseen (Hänninen, 2022, s. 99–100). Nykyaikaisissa teollisuusrobottien nivelten moottoreissa on servo-ohjaus, joka on parantanut robottien tarkkuutta ja käytettävyyttä. Robottien ohjelmointi on myös helpottunut ja monipuolistunut uusien teknologioiden myötä (mts. 112).

Kuva 2. 6-nivelinen teollisuusrobotti (ABB, i.a.-c).

2.2 Yleisimmät käyttötarkoitukset

Yleisemmin teollisuusrobotteja käytetään silloin, kun teollisen tuotannon työtehtävät ovat ihmiselle liian raskaita, vaarallisia, tai paljon toistoja vaativia. Tällaisia tehtäviä ovat esimerkiksi kuuman metallin kanssa työskentely sekä toistuvat liukuhihnalla suoritettavat kokoonpano- tai

lajittelutyöt. Nykyteknologian myötä teollisuusrobotit ovat lisäksi tarkempia, nopeampia ja vähemmän virhealttiita kuin ihminen (Hänninen, 2022, s. 99).

2.3 Robotin ohjelmointi

Teollisuusrobotin ohjelmointi on komentojen antamista robotille, jonka mikrokontrollerit pyrkivät toteuttamaan käskyt (Hänninen, 2022, s. 54–55). Mikrokontrolleri suorittaa annettuja komentoja rivi kerrallaan ylhäältä alaspäin. Ohjelmointikieli riippuu käytettävästä robotista. Teollisuusrobotteja voidaan ohjelmoida robotin käsiohjaimella, mitä voidaan kutsua opettamalla ohjelmoinniksi. Käsiohjanta käytettäessä robotti viedään haluttuihin kohdesijanteihin ja liikesarjat tallennetaan robotin muistiin. Toinen ja enemmän yleistynyt tapa on ohjelmoida robotit erillisellä tietokoneella ja simulointiohjelmalla. Tässä tapauksessa ohjelmointi voidaan suorittaa ilman, että tuotanto keskeytyisi. Simulointiohjelmalla robotteja ja oheislaitteita komennetaan graafisessa tilassa. Kun ohjelma on valmis, se ladataan robotin mikrokontrolleriin.

2.4 IRB 4600 -teollisuusrobotti

Tähän työhön on suunniteltu käytettäväksi 6-nivelistä, 60 kg:n kapasiteetilla olevaa ABB:n IRB 4600 -teollisuusrobottia (Kuva 3) (ABB, i.a.-c). Robotti valittiin tarttujan ja nostettavien kappaleiden arvioidun yhteispainon perusteella. IRB 4600 on nostokykyynsä nähden kompaktin kokoinen, ja robotin voi asentaa vaikka ylösalaisin. Robotin ulottuvuus on 2,05 m ja toistettavuustarkkuus 0,05 mm. IRB 4600 soveltuu lähes kaikkiin käyttötarkoituksiin teollisuudessa.

Kuva 3. IRB 4600/60 -teollisuusrobotti (ABB, i.a.-c).

IRB 4600 -sarjan roboteista olisi löytynyt vaihtoehtoisesti 40 kg:n ja 45 kg:n kantokyvyllä varustettu robotti, joka olisi voinut tähän työhön riittää. Ulottuvuudessa ei olisi ollut mitään eroa, joten tähän työhön se ei olisi tuonut mitään lisähyötyä. Lisäksi robottien hintaero ei ole merkittävä.

3 ROBOTIN TARTTUJAT

Tarttuja on teollisuusrobotin yksi tärkeimmistä osista, joka kiinnitetään robotin työkalulaippaan. Tarttuja ei kuulu robotin vakiovarusteisiin, vaan tarttuja hankitaan aina erikseen kohteen vaatimuksien mukaan. Tarttujan oikean tyyppinen valinta on tärkeää, koska tarttuja on suoraan kosketuksessa käsiteltävän materiaalin kanssa. Tarttujatyyppejä ovat imu- ja alipaineinen, pneumaattinen, magneettinen, hydraulinen ja servosähköinen tarttuja (RobotWorx, 2022). Tässä työssä käsitellään pneumaattisia ja sähkökäyttöisiä tarttujia, joiden tyypilliset käyttösovellukset ovat poimi ja aseta -prosessit.

3.1 Pneumaattinen tarttuja

Pneumaattinen tarttuja on yleisin tarttujamalli, joka toimii paineilmalla (Kuva 4). Toiminta perustuu paineilmasylinterimäisesti siihen, että tarttujan leuat liikkuvat siihen suuntaan, mihin kanavaan ilmanpaine on kytketty.

Kuva 4. 2-leukainen pneumatiikkatarttuja (Zimmer group, i.a.).

Yleisimmin pneumaattisissa tarttujissa on 2 tai 3 tartuntaleukaa, mutta leukoja voi olla jopa 6 kpl:ta. Lisäksi tarttujia on hyvin erimallisia, koska niitä valmistetaan käyttötarkoituksen mukaan. Pneumaattinen tarttuja on kevyt ja halpa ratkaisu, jos tartunnassa ei vaadita erittäin isoa voimaa tai suurta tarkkuutta (RobotWorx, 2022).

3.2 Servo-sähköinen tarttuja

Servo-käyttöiset tarttujat ovat yleisesti ulkonäöltänsä samankaltaisia kuin pneumaattiset tarttujat, mutta leukoja ohjataan servomoottorilla (Kuva 5) (RobotWorx, 2022). Servo-käyttöiset tarttujat yleistyvät yhä enemmän teollisuudessa niiden hallittavuuden takia. Leukojen liikematkaa ja paikkaa voidaan määrittää sekä tartuntavoimaa voidaan säätää helposti. Lisäksi säätöominaisuudet ovat hyvin tarkkoja. Servo-sähköiset tarttujat soveltuvat myös hyvin erityistä puhtautta vaativiin kohteisiin, koska niissä ei ole vuotovaaroja, kuten esimerkiksi paineilmalla toimivissa tai hydraulisissa tarttujissa on. Servo-sähköiset tarttujat ovat myös kustannustehokkaita.

Kuva 5. Servo-sähköinen 2-sormitarttuja (Bouchard, 2014).

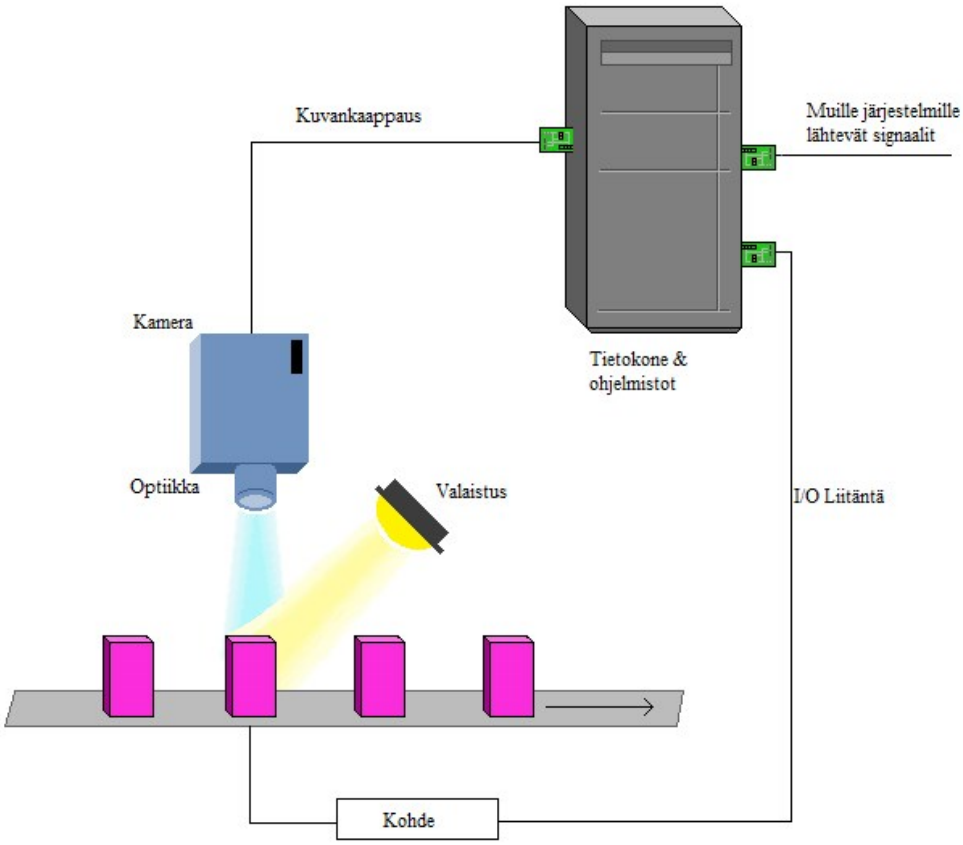
3.3 Sähkö-ohjattu magneettitarttuja

Sähkömagneettitarttujalla voi käsitellä vain magneettisia kappaleita (Universal Robots, 2019). Sähkömagneettisessa tarttujassa ei ole leukoja, vaan niiden toiminta perustuu sileisiin tartuntapintoihin (Kuva 6). Magneettiset tarttujat ovat yleisiä metallilevyjen siirtelyprosesseissa. Sähkömagneetin tartuntaa ohjataan sähköisesti, ja magneettitehoa voidaan myös säätää.

Kuva 6. Sähkö-ohjattu magneettitarttuja (Thinkbot Solution, i.a.).

4 KONENÄKÖ

Konenäkö koostuu sovelluksista, joissa ohjelmiston ja laitteiston yhdistelmällä otettua kuvaa analysoidaan ja sen perusteella tehtävät päätökset ohjaavat laitteita ja niiden toimintojen suorittamista. Konenäköjärjestelmä koostuu kamerasta, objektiivista, valaistuksesta, kuvankäsittelystä ja tiedonsiirrosta. Perinteisessä konenäköjärjestelmissä (Kuvio 1) otettua kuvaa analysoidaan ja käsitellään tietokoneen avulla. Älykameroilla kuvan käsittelyn ja analysoinnin voi suorittaa ilman erillistä ohjelmistoa, koska älykamerat sisältävät kaiken tarvittavan elektroniikan. (Cognex, i.a.).



Kuvio 1. Perinteinen konenäköjärjestelmä (SAMK automaation tutkimusryhmä, i.a.).

4.1 Konenäköjärjestelmän menetelmät ja toimintaperiaate

Kuvan tarkastelu alkaa siitä, kun kohde saapuu kuvauspaikalle tai kamera tuodaan kohteen läheisyyteen esimerkiksi, jos kamera on kiinnitetty robottiin (Labudzki ym., 2014). Tämän jälkeen lähestymisanturi tai robotin ohjelmaan määritetty signaali lähettää kameralle käskyn kuvauksesta. Yleensä samalla annetaan käsky myös valaistukselle, että kohde saadaan

valaistua vain kuvan ottamisen hetkellä. Seuraavaksi kuva käsitellään. Kuvan käsittely (Taulukko 1) parantaa kohteen tarkastamista ja helpottaa kuvan analysointia. Kuvan käsittelyn ja analysoinnin jälkeen laitteiston toimenpiteet määräytyvät ohjelman rakenteesta ja ehdoista.

Taulukko 1. Yleisempiä kuvankäsittelymenetelmiä konenäössä (Hänninen, 2022, s. 251–252).

Menetelmä	Selite
Segmentointi (Segmentation)	Kuvan jakaminen yhtenäisiin alueisiin, esim. värin perusteella.
Kynnystys (Thresholding)	Kuvan sävyjen vähentäminen (mustavalkoiseksi)
Hahmontunnistus (Pattern recognition)	Mallien tai kuvioiden tunnistaminen kuvasta.
Tekstintunnistus (Optical Character Recognition, OCR)	Koneellisesti tai käsin tuotetun tekstin tunnistaminen.
Viivakoodien lukeminen (Barcode)	Optiseen koneellisesti luettavaan muotoon koodattujen tietoalkioiden lukeminen.

Kuvan käsittelyn jälkeen kuvattavasta kohteesta tarkastellaan haluttuja piirteitä ja mittoja. Kuvattavan kappaleen paikan tai orientaation muuttuessa on järkevää paikoittaa kappale, että voidaan määrittää kuvasta ROI (Region Of Interest). ROI:n avulla analysointi keskitetään vain halutulle alueelle, mikä nopeuttaa kohteen analysointia (Hornberg, 2017, s. 47). Merkittävimpiä kuvattavan kohteen analysointi- ja tarkastustoimenpiteitä ovat kohteen muoto, läsnäolo, väri, mittaukset ja koodinluku, kuten matriisikoodit ja OCR (Optical Character Recognition) (Seinäjoen ammattikorkeakoulu, i.a.).

4.2 Kameran valinta

Kameran kustannukset voivat vaihdella paljon. Tästä syystä kannattaa selvittää konenäköjärjestelmän tarvittavat vaatimukset suunnitteluvaiheessa, jotta voidaan valita optimaalinen kamera ja muut järjestelmän osat. Kameran valinnassa olisi hyvä ottaa huomioon ainakin neljä

asiaa: resoluutio, kuvausnopeus, perinteinen konenäköjärjestelmä vai älykamerajärjestelmä ja se, tarvitaanko värikameraa (Leino ym., 2014, s. 21).

4.2.1 Resoluutio

Kameran resoluutio on ensimmäinen asia, joka otetaan huomioon kameraa valittaessa. Jos esimerkiksi kameran resoluutio on 1200x900 pikseliä, niin otettavassa kuvassa on 1200 pikseliä vaakasuunnassa ja 900 pikseliä pystysuunnassa. Resoluutiota laskiessa kannattaa täyttää vain tilanteeseen tarvittava resoluutiovaatimus, sillä mitä enemmän pikseleitä on, sitä kauemmin kuvan analysointi kestää. Kuvakoon FOV (Field Of View) on oltava riittävän suuri, jos kohteen paikka vaihtuu kuvauspaikalla. Jos kohteen sijainti on aina sama, voidaan kuvakoko valita kohteen koon mukaan ja näin resoluutiokin voidaan valita sen mukaisesti. Kuvattavan kohteen muoto ja kohteesta halutut tarkasteltavat yksityiskohdat vaikuttavat myös resoluution valintaan. Esimerkiksi kappaleen mittaukseen vaaditaan 3–10 pikseliä toleranssiarvoa kohti, eli jos toleranssivaatimus on 0,5 mm, niin vähimmäispikselimäärä on 0,5 mm:n matkalle 3 pikseliä. Kohteen muodon tarkastus voi vaikuttaa pikseleiden määrään sadoista jopa tuhansiin pikseleihin (Leino ym., 2014, s. 21–22).

4.2.2 Kameran nopeus

Kameran nopeus FPS (frames/second) on myös otettava huomioon eli se, millä nopeudella kuvia täytyy ottaa. Tässäkin viisainta on valita tarvittava vaatimus, mutta kameran nopeus olisi kuitenkin hyvä valita niin, että kuvia ei tarvitsisi ottaa aivan suurimmalla nopeudella ottaa (Leino ym., 2014, s. 22).

4.2.3 Perinteinen konenäköjärjestelmä vai älykamera?

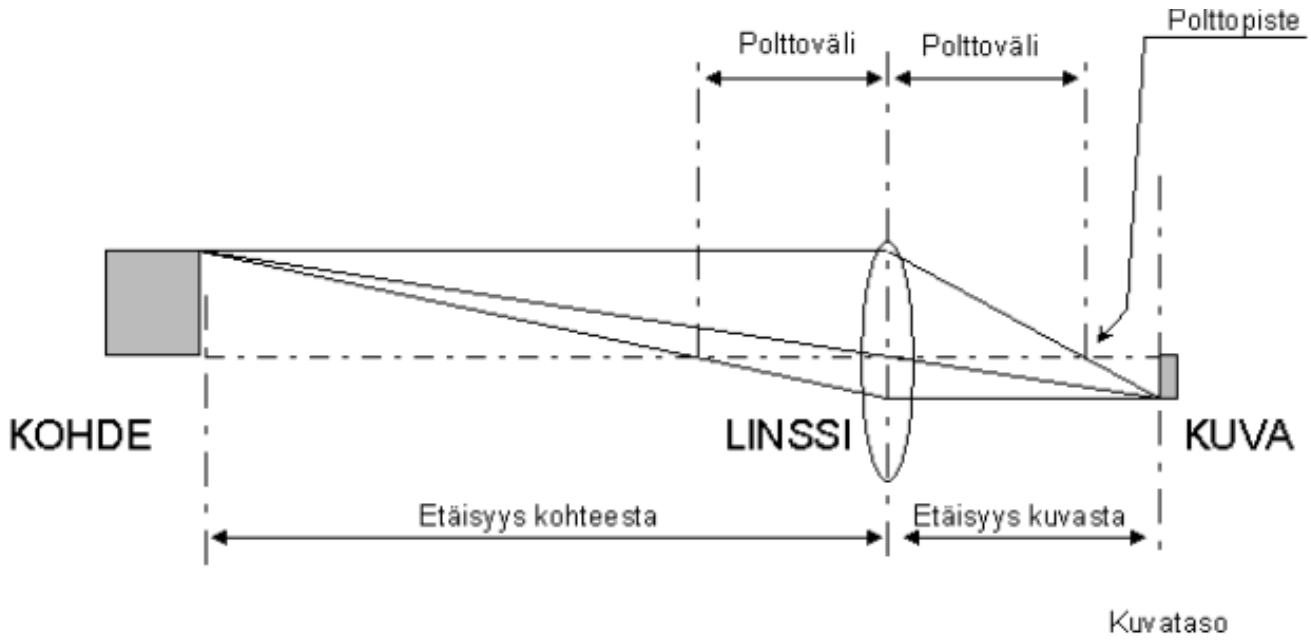
Perinteisessä konenäköjärjestelmässä pitää olla tietokone, ohjelmisto, mahdolliset kuvankaappaus- ja muut kommunikointilaitteet sekä enemmän kokemusta konenäöstä kuvan analysointia varten, kun taas älykamera analysoi kuvan ja lähettää tulokset eteenpäin. Älykamerajärjestelmä on nopeampi ja vakaampi kuin perinteinen konenäköjärjestelmä, mutta laskentateho ei kuitenkaan ole lähelläkään samalla tasolla (Leino ym., 2014, s. 22).

4.2.4 Väri- vai harmaasävykamera?

Värisävykameran kannattaa hankkia ainoastaan silloin, kun halutaan tunnistaa värejä. Värikameroissa kameran tarkkuus vähenee huomattavasti, ja saman resoluution harmaasävykameralla saadaan noin kolme kertaa tarkempi kuva (Leino ym., 2014, s. 22).

4.3 Optiikka

Optiikan valinta konenäkökameraan määräytyy halutusta kuvakoosta, kuvausetäisyydestä ja kameran kennon koosta. Näiden tietojen selvittämisen jälkeen voidaan laskea optiikan polttoväli (Kuvio 2) ja valita sopiva optiikka. Optiikan kiinnitys tulee myös tarkastaa valittavaan kameraan sopivaksi (Leino ym., 2014, s. 23).

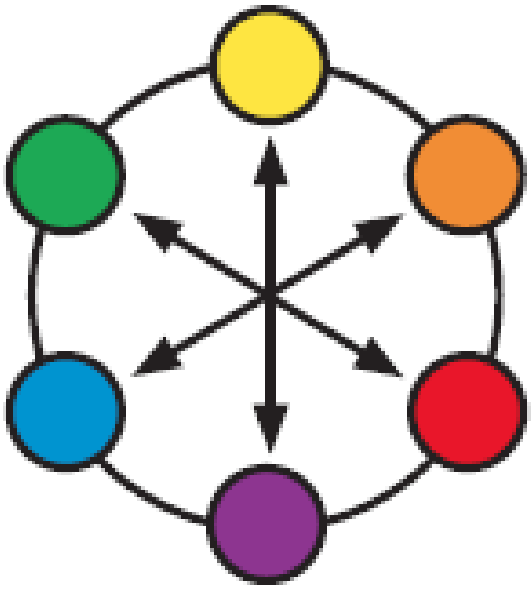


Kuvio 2. Optiikan polttoväli (Metropolia ammattikorkeakoulu, 2009).

4.4 Valaistus

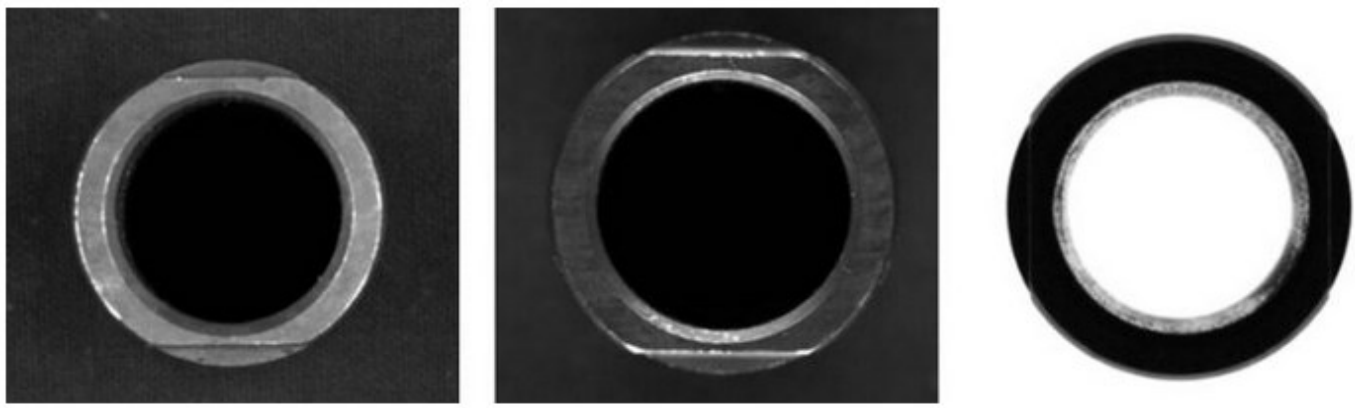
Valaistus on tärkeää konenäköjärjestelmissä. Kuvan lopputulokseen vaikuttaa merkittävästi oikeanlaisen valonlähteen valinta ja optimaalinen valaistuksen määrä sekä tilanteeseen sopiva kohteen tausta. Valaistuksen tulisi myös kattaa koko kuvattavan kohteen alue ja ulkopuoliset valot, sekä varjot tulisi eliminoida mahdollisimman hyvin parhaan mahdollisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Ulkopuolelta tulevien valojen eliminointi voidaan toteuttaa estämällä ulkopuolisen valon pääsy kohteeseen tai käyttämällä erivärisiä suotimia eli filttereitä

kohteen valaisussa. Valkoista valoa käytetään yleisemmin, mutta käyttämällä eri värisiä valonlähteitä saadaan korostettua haluttuja piirteitä. Vastaväriä (Kuvio 3) käyttämällä piirre näkyy tummempana, ja samaa väriä käyttämällä piirre näkyy kirkkaampana.



Kuvio 3. Vastaväriesimerkkejä (Microscan, 2012, s. 6).

Esimerkiksi jos sinisellä taustalla olevaa oranssia kappaletta valaistaan oranssilla valolla, kappale näkyy kirkkaana ja tausta tummana (Seinäjoen ammattikorkeakoulu, i.a.). Valon tulosuunta vaikuttaa myös kohteen piirteiden tunnistamiseen merkittävästi (Kuvio 4).

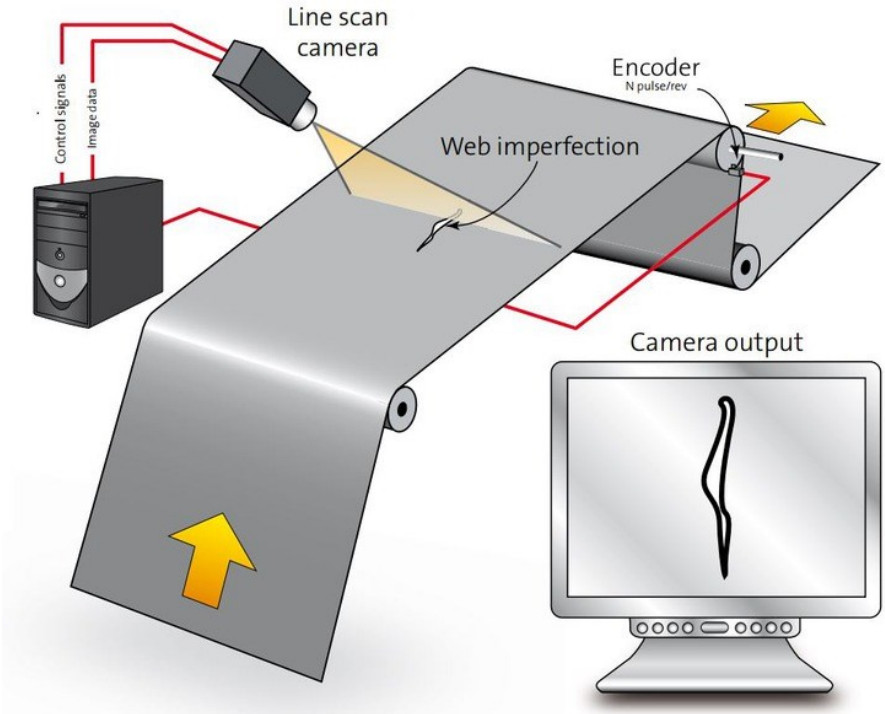


Kuvio 4. (Vasen kuva) valaistus sivulta yläviistosti, (keskellä) kuvan suunnassa alhaalta ja ylhäältä viistosti, (oikealla) suoraan alhaalta (Hirvonen, 2022).

4.5 Viivakamerat

Viivakameran käyttö vaatii aina joko kohteen tai kameran liikkeen, koska kuvattava alue on viivamainen. Viivakameroiden resoluutio on tyypillisesti leveydeltään 512 pikselistä jopa 16000 pikseliin. Viivakameroiden yleisiä käyttötarkoituksia ovat jatkuvan tuotteen, esimerkiksi rullalta tulevan paperin, tekstiilin tai teräslevyn tarkastus (Kuvio 5). Liukuhihnalla kulkevien kappaleiden tarkastus ja mittaus on myös hyvin järkevää suorittaa viivakameroilla, varsinkin jos kappaleen pituudet vaihtelevat paljon ja resoluutiovaatimus on korkea.

Viivakamerajärjestelmissä valotettavan alueen ei tarvitse olla niin suuri kuin matriisikamera-järjestelmässä, mutta on otettava huomioon valaistuksen riittävyys, koska valotusajat ovat lyhyempiä (Stemmer Imaging. i.a.).



Kuvio 5. Rullatuotteen tarkastus viivakameralla (Stemmer imaging, i.a.).

5 SOLUN MALLINNUS JA SIMULOINTI

5.1 Nykyinen layout

Kohteessa on nykyhetkellä saksinostin, jonka päälle staattori- ja roottorilevyjä nostetaan kuormalavoissa trukilla (Kuva 7).

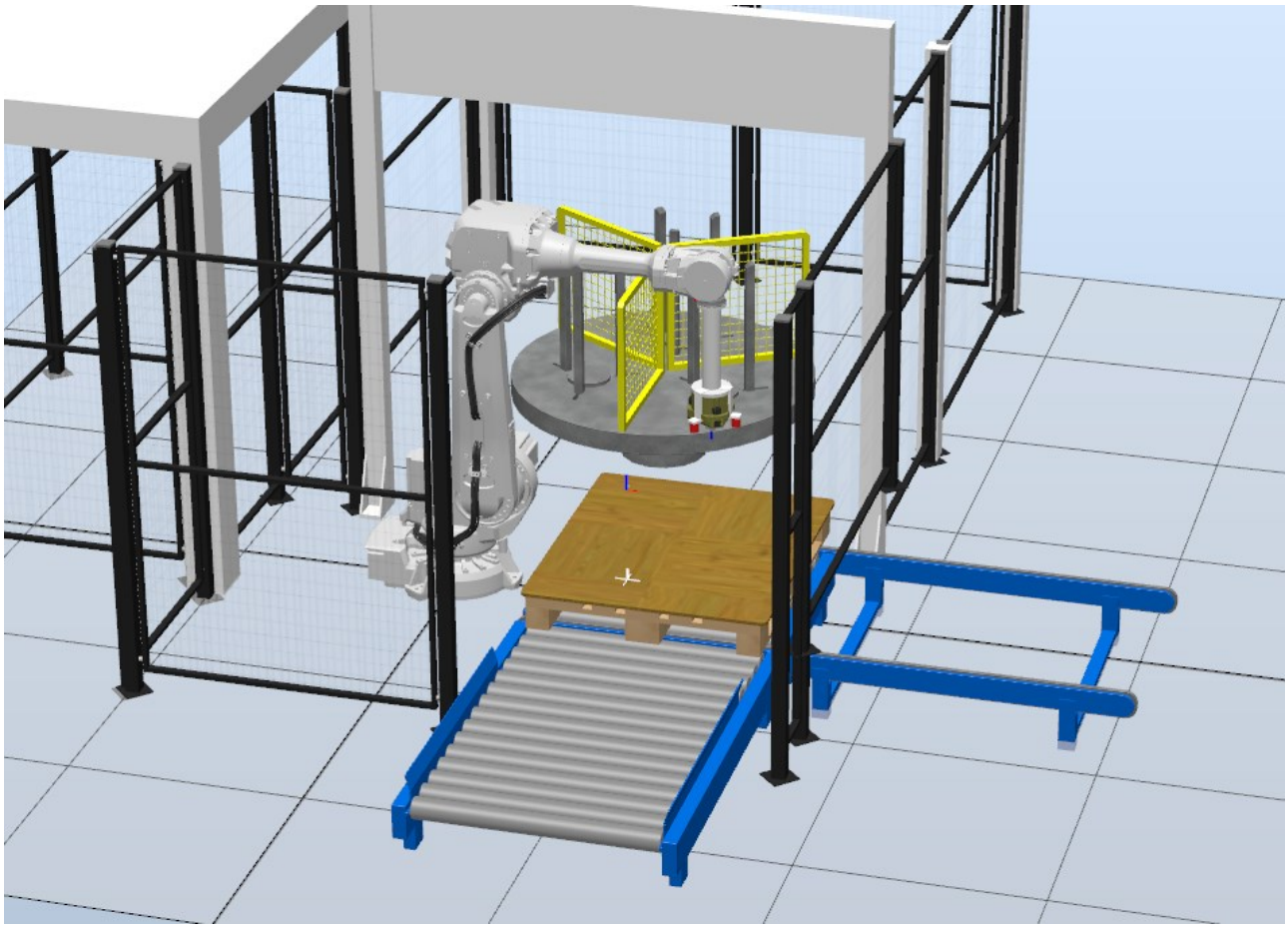
Kuva 7. Nykytilanne kohteessa (Tuomaala, 2022).

Makasiinin ja tason välissä on nosto-ovi. Prässin puoleisen makasiinin levypinon ja täytettävien levypinojen välissä on turva-aita, joten nosto-ovi voi olla auki, vaikka prässi olisikin käynnissä. Makasiinin pyörähtäessä nosto-ovi menee kuitenkin kiinni.

5.2 Suunniteltu layout

Kohteen modernisoinnissa pyrittiin pitämään levyjen latominen ja prässin toiminta mahdollisimman erillään toisistaan. Mitä enemmän prässin ominaisuuksia, kuten makasiinia, manipulaattoria, turva-aitoja tai ohjelmaa muutetaan, niin sitä monimutkaisempaa on laitteiden turvallisuusasioiden uudelleen hyväksyminen.

Työssä on tarkoitus myös simuloida solu RobotStudio-ohjelmalla, joten suunniteltu layout saatiin samalla hyvin visualisoitua (Kuvio 6).



Kuvio 6. Kuvakaappaus RobotStudiosta suunnitellusta layoutista (Tuomaala, 2023).

Suunnitellussa solussa ei ole muutettu prässin ja oheislaitteiden toimintaa. Ainoastaan makasiinin pyörähtäessä pitää saada prässin ohjelmaan ehto, että robotti ei ole makasiinin alueella. Lisättävien turva-aitojen lisäksi soluun tulisi myös kulkuovi, jota kuviossa 6 ei näy.

5.3 Ohjelmointi

5.3.1 RAPID-ohjelmointikieli

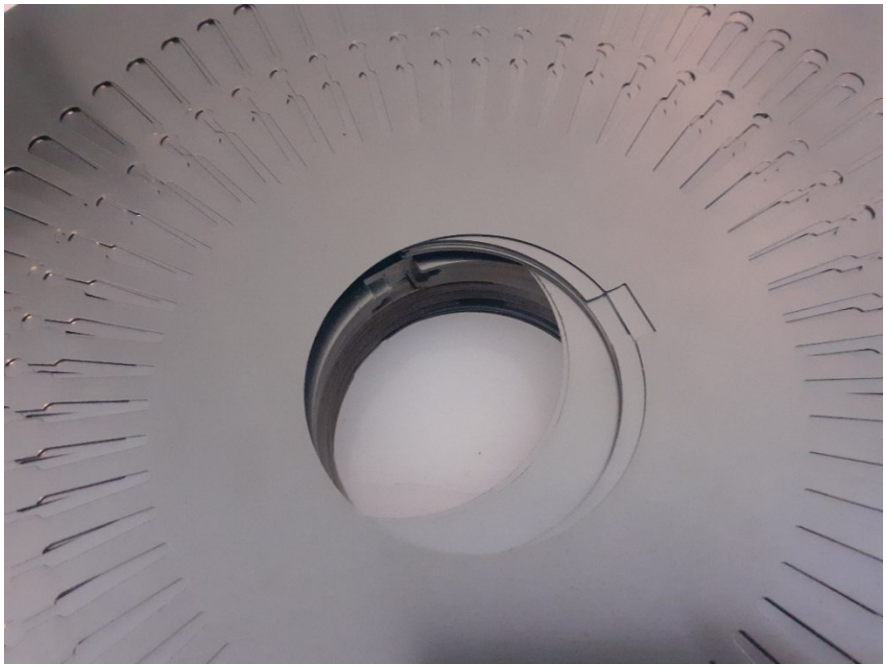
Robotin ohjelmointi tehtiin myös RobotStudio-ohjelmalla, jossa käytetään RAPID-ohjelmointikieltä. RAPID-ohjelmointikieli on korkeatasoinen ohjelmointikieli, jossa käytetään englanninkielisiä käskyjä, joilla ohjataan robottia ja oheislaitteita (Kuvio 7) (ABB, 2013, s. 13).

```
41                      Z_Shift_place:=Z_Shift_place+20;
42                      Z_Shift:=Z_Shift+20;
43                  ENDFOR
44                  X_Shift:=X_Shift+280;
45              ENDFOR
46              Y_Shift:=Y_Shift+240;
47          ENDFOR
48      ENDPROC
49
50      PROC Pick_Plates()
51          MoveJ Offs(PickPoint,0+X_Shift,0-Y_Shift,500-Z_Shift),v2000,z50,pzn\WObj:=wobj0;
52          MoveL Offs(PickPoint,0+X_Shift,0-Y_Shift,370-Z_Shift),v200,fine,pzn\WObj:=wobj0;
53          MoveL Offs(PickPoint,0+X_Shift,0-Y_Shift,319-Z_Shift),v50,fine,pzn\WObj:=wobj0;
54          Set DO_Gripper_open;
55          WaitDI DI_Gripper_opened,1;
56          MoveL Offs(PickPoint,0+X_Shift,0-Y_Shift,370-Z_Shift),v50,fine,pzn\WObj:=wobj0;
57          MoveL Offs(PickPoint,0+X_Shift,0-Y_Shift,500-Z_Shift),v200,fine,pzn\WObj:=wobj0;
58          MoveJ Offs(PickPoint,0+X_Shift,0-Y_Shift,700-Z_Shift),v1000,z50,pzn\WObj:=wobj0;
59          MoveJ Offs(via,0,0,0),v1000,z200,pzn\WObj:=wobj0;
60      ENDPROC
```

Kuvio 7. Kuvakaappaus RobotStudiosta osasta tämän työn RAPID-ohjelmakoodista (Tuomaala, 2023).

5.3.2 Robotin ohjelmointi konenäön kanssa

Soluun on suunniteltu konenäköä levypinojen paikallistamiseen, koska levypinot sijaitsevat lavoilla eri paikoissa. Konenäöllä saadaan myös havaittua mahdolliset liialliset poikkeamat, joiden myötä levyjen nostaminen ei olisi mahdollista (Kuva 8).



Kuva 8. Levyt voivat joskus olla huonosti pinossa (Tuomaala, 2023).

Suunniteltu työkierto konenäön kanssa:

1. Konenäkö ottaa kuvan levyjen yläpuolelta niin, että kaikki lavan levyt näkyvät kuvassa.

2. Robotti saa levyjen koordinaatit kuvasta ja siirtyy lähimmäisen pinon yläpuolelle.

3. Konenäkö ottaa kuvan, jolla tarkastellaan levyjen virheasentoja.

4. Robotti vie noin 20 levyä kerralla prässin makasiiniin.

Levyjen paikannuskuva otetaan vain kerran uuden lavan tullessa soluun. Jokaisella poimintakerralla otetaan uusi kuva levyjen virheasentojen tarkastelua varten. Robotti ei aloita levyjen poimimista, jos konenäön kuva ei täytä kuva-analyysin vaatimuksia tai makasiini on pyörähtämässä. Makasiinin pyörähtämiseen pitää saada myös ehto, onko robotti makasiinin alueella.

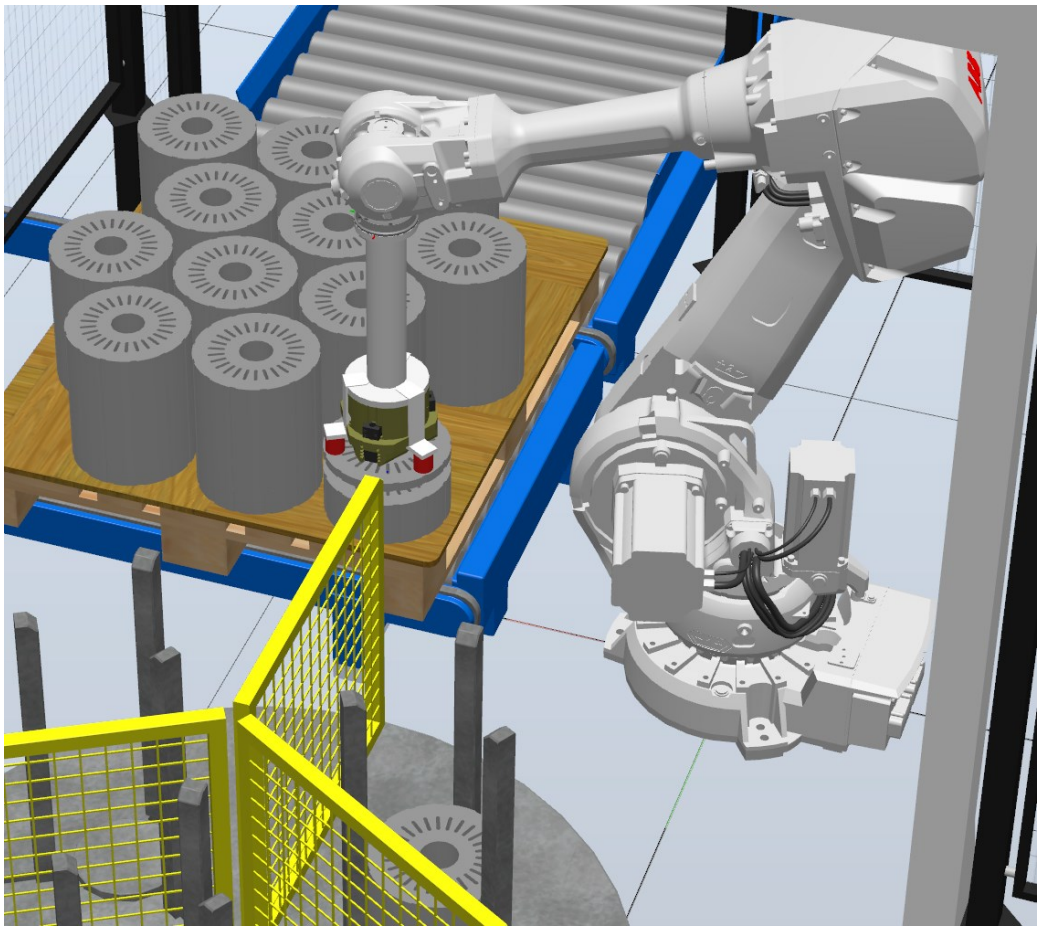
Levypinojen korkeus pitää myös mitata jokaisen poiminnan jälkeen, koska levyjen poimintamäärä vaihtelee, ja sen takia robotille pitää saada aina uusi Z-koordinaatti. Vaihtoehtoja tähän voisivat olla esimerkiksi tarttujaan kiinnitettävä lähestymisanturi, laser-etäisyysanturi sekä voima-anturin lisääminen tai ABB-robottien SoftMove-ohjelmiston hyödyntäminen. SoftMoven avulla robotti tunnistaa esteen ja pysähtyy. SoftMovea käyttämällä levyjen poiminta- ja vientipisteiden Z-koordinaatit asetettaisiin aina alimmaisten levyjenkin alapuolelle.

5.4 Työkierron simulointi

Ohjelmointi tehtiin tässä vaiheessa ilman konenäköä, joten ohjelman rakennetta ei ole tarpeellista käydä läpi. Simuloinnissa tehty ohjelma löytyy kuitenkin liitesivulta (Liite 1). Simuloimalla työkierto pystytään havaitsemaan ennalta mahdolliset törmäykset, laskemaan prosessin läpimenoaika ja varmistamaan koneiden ja laitteiden sopivuus soluun.

5.4.1 Tarttujan tarkastelu

Simulointiin mallinnettiin kooltaan pienimmät prässillä käsiteltävät levyt, jotta saatiin tarttujan sallitut maksimimitat selvitettyä. Tarttujan mitat magneettien kanssa eivät saa ylittää pienimpien levyjen mittoja (Kuvio 8).

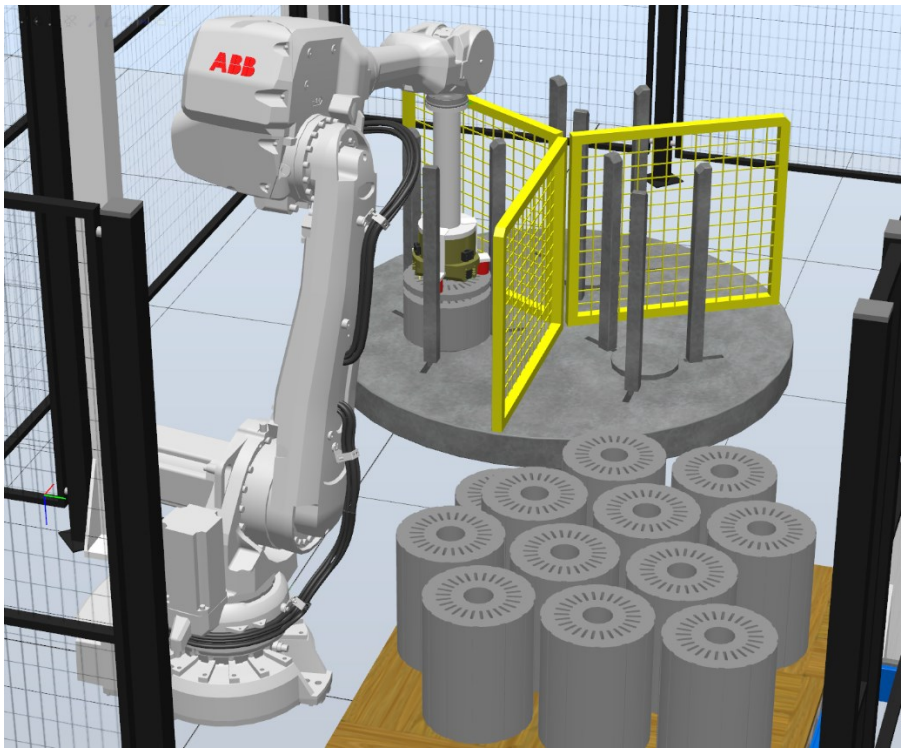


Kuvio 8. Kuvakaappaus RobotStudiosta. Tarttuja mahtui poimimaan levyt lavoilta ja viemään ne makasiinin tappien väliin (Tuomaala, 2023).

Tarttujan käytännön testauksissa ominaisuuksiltaan riittäväksi todetun tarttujan halkaisija oli 110 mm. Simuloinnissa käytetty tarttujan halkaisija on 204 mm, joten tarttujan valinnassa on varaa valita isompikin tarttuja, mutta magneettien koko pitää ottaa myös huomioon.

5.4.2 Robotin tarkastelu

Ulottuvuuksiltaan ja kantokyvyltään tähän työhön riittävä ABB:n 60kg:n IRB 4600 -teollisuus-robotti mahtui suorittamaan kaikki vaadittavat liikeradat solussa. Robotin ja tarttujan välissä pitää olla jatkovarsi, koska robotin käsivarsi ei mahdu makasiinin tappien väliin (Kuvio 9).



Kuvio 9. Kuvakaappaus RobotStudiosta. Levyjen vienti makasiiniin vaatii jatkovarren tarttujalle (Tuomaala, 2023).

IRB 4600 -sarjasta löytyy myös 40 ja 45 kg:n kantokykyiset robotit, jotka myös riittäisivät ominaisuuksiltaan. 4600-sarjan robotit ovat kuitenkin fyysisiltä mitoiltaan samankokoisia, 40 kg:n vielä 20 cm korkeampi. Lisäksi 60 kg:n robotin valinnan myötä tarttujan kokoa ja nostettavien levyjen kertanostomäärää jää vielä hyvin varaa lisätä.

5.4.3 Prosessin läpimenoaika

Prässin sykliajaksi on laskettu 1,5 s/levy. Robotin sykliajan riittävyyden varmistamiseksi laskettiin robotin levyjen vähimmäispoimintasykliksi 1 s/levy. Simuloinnissa laskettu sykli oli 0,7 s/levy, jolloin kuva-analyysin kesto mukaan arvioituna sykliaika voitiin todeta riittäväksi. Kerralla nostettavien levyjen nostomäärää voitaisiin pienentää simuloinnissa todetun sykliajan myötä, mikä pienentäisi käsiteltävää kuormaa, mikä taas mahdollistaisi pienemmän robotin käytön. Robotin sykliajan on kuitenkin hyvä olla reilusti lyhyempi, kun otetaan huomioon esimerkiksi levyjen virheasennoista, levyjen tuonnista kuljettimelle tai tyhjän lavan poistamisesta johtuvat odotus ajat.

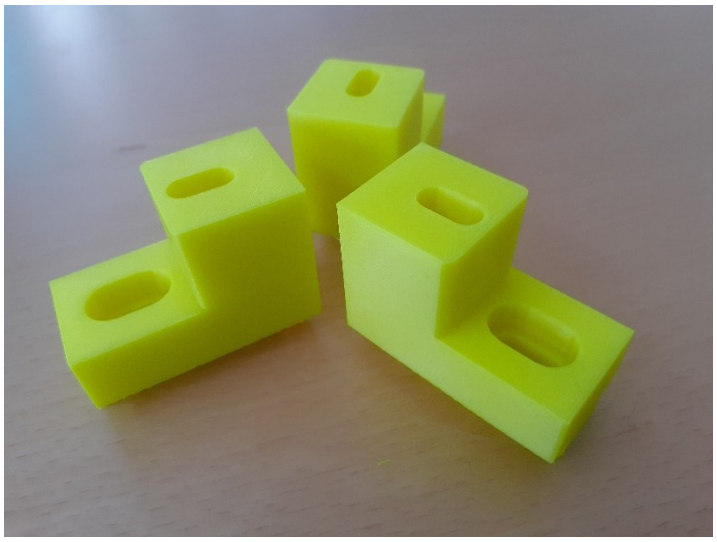
6 TARTTUJAN SUUNNITTELU JA TESTAUS

Tarttujan testaukset aloitettiin solun simuloinnin yhteydessä. Tarttujan eri vaihtoehtoja oli suunniteltu jo työharjoittelun aikana, mutta ensimmäiseksi vaihtoehdoksi oli mietitty tavallista 3-sormitarttujaa, jolla levyjä poimittaisiin levyjen keskireiästä. Tämä tarttujavaihtoehto olisi myös halvin ja nopein toteuttaa, kun tarttujasta ei tarvitsisi valmistaa yksilöllistä, joten päätettiin aloittaa testaukset kyseisellä tarttujalla. Lisäksi Seinäjoen ammattikorkeakoulun robotiikan laboratoriosta löytyi Schunkin PZN100/1 3-sorminen paineilmatarttuja (Kuva 9), jota pystyttiin käyttämään testauksissa.

Kuva 9. Schunk PZN 100/1 -tarttuja. (Schunk, i.a.).

6.1 Tarttujan sormet

Tarttujan sormet (Kuva 10) mallinnettiin Solid Edge -suunnitteluohjelmalla ja tulostettiin koulun 3D-tulostimella käytettävään tarttujaan sopivaksi sekä levyjen nostettavan määrän vaatimuksien mukaisesti. Levyjen vaadittu nostettava vähimmäismäärä (30 kpl) on laskettu niin, että robotti ehtii täyttämään makasiinin seuraavan levypinon ennen kuin prässin manipulaattori poimii levyt makasiinin edellisestä pinosta. Sormien pituus määriteltiin 20 mm:ksi, jolloin sormilla pystyttiin nostamaan noin 40 levyä kerralla, kun levyjen paksuus oli 0,5 mm.

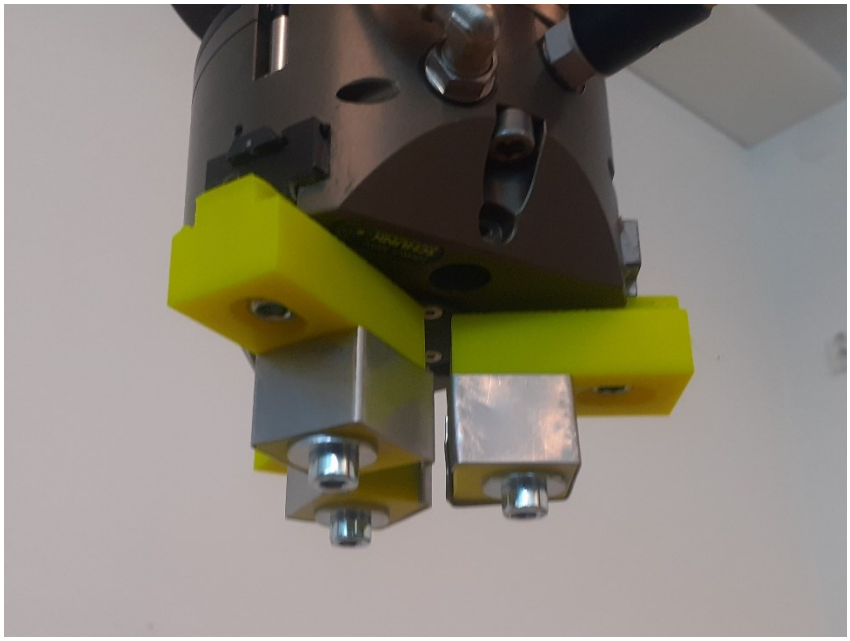


Kuva 10. 3D-tulostetut tarttujan sormet (Tuomaala, 2023).

Sormien tartuntapinta-ala tehtiin asteen verran vinoon, koska muovi antoi periksi. Käyttöön tulevat tarttujan sormet valmistettaisiin teräksestä, mutta tulostettava kovamuovimateriaali riitti tässä työssä sormien testaamiseen.

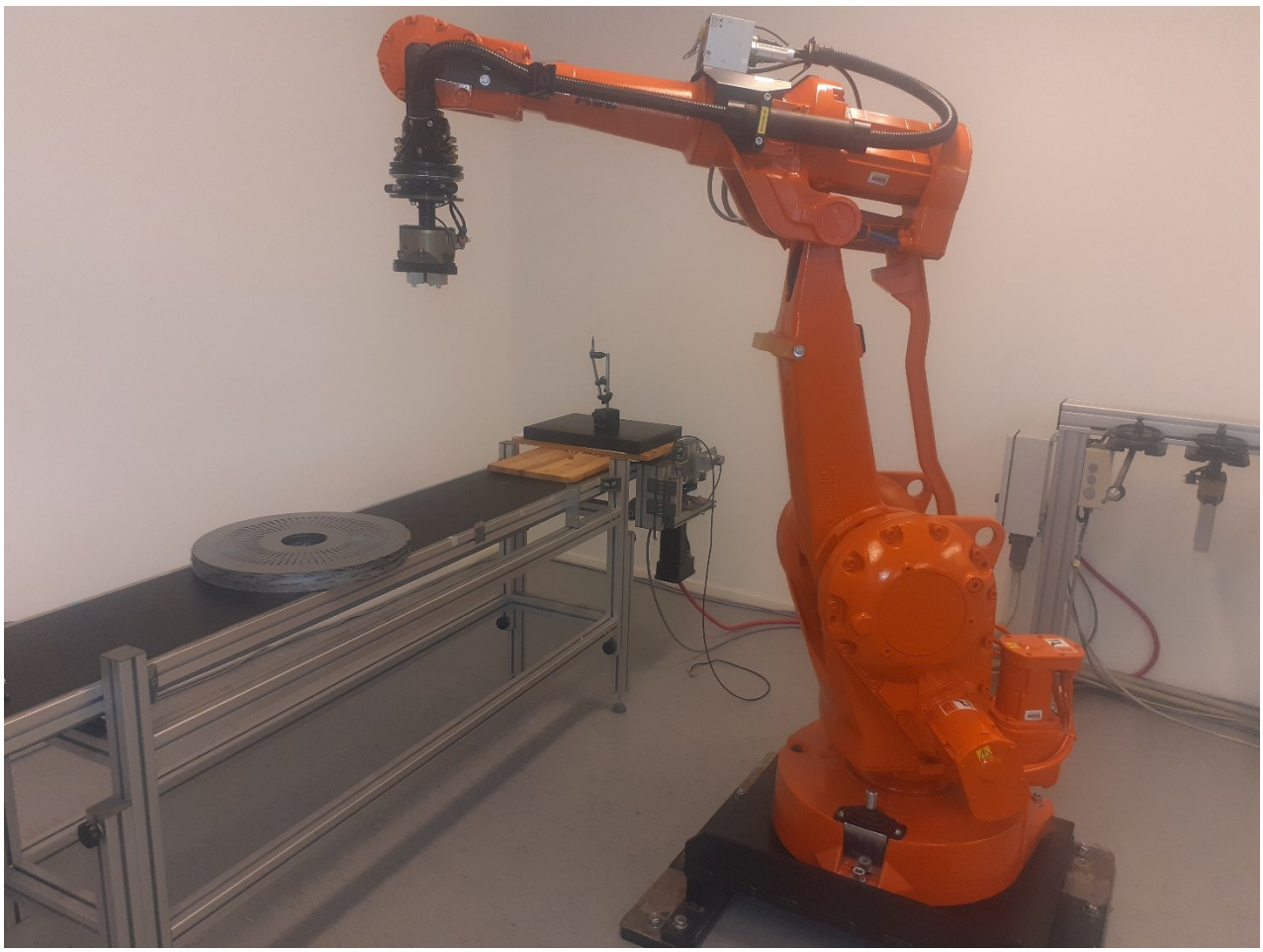
6.2 Levyjen nosto

Testauksessa nostettavat levyt olivat halkaisijaltaan isoimmat, mitä prässin makasiiniin ladotaan, joten saatiin selville isoin paino nostettaville levyille. Sormien tartuntapintaan taiteltiin pellit, joilla estetään levyjen painuminen muoviin (Kuva 11).



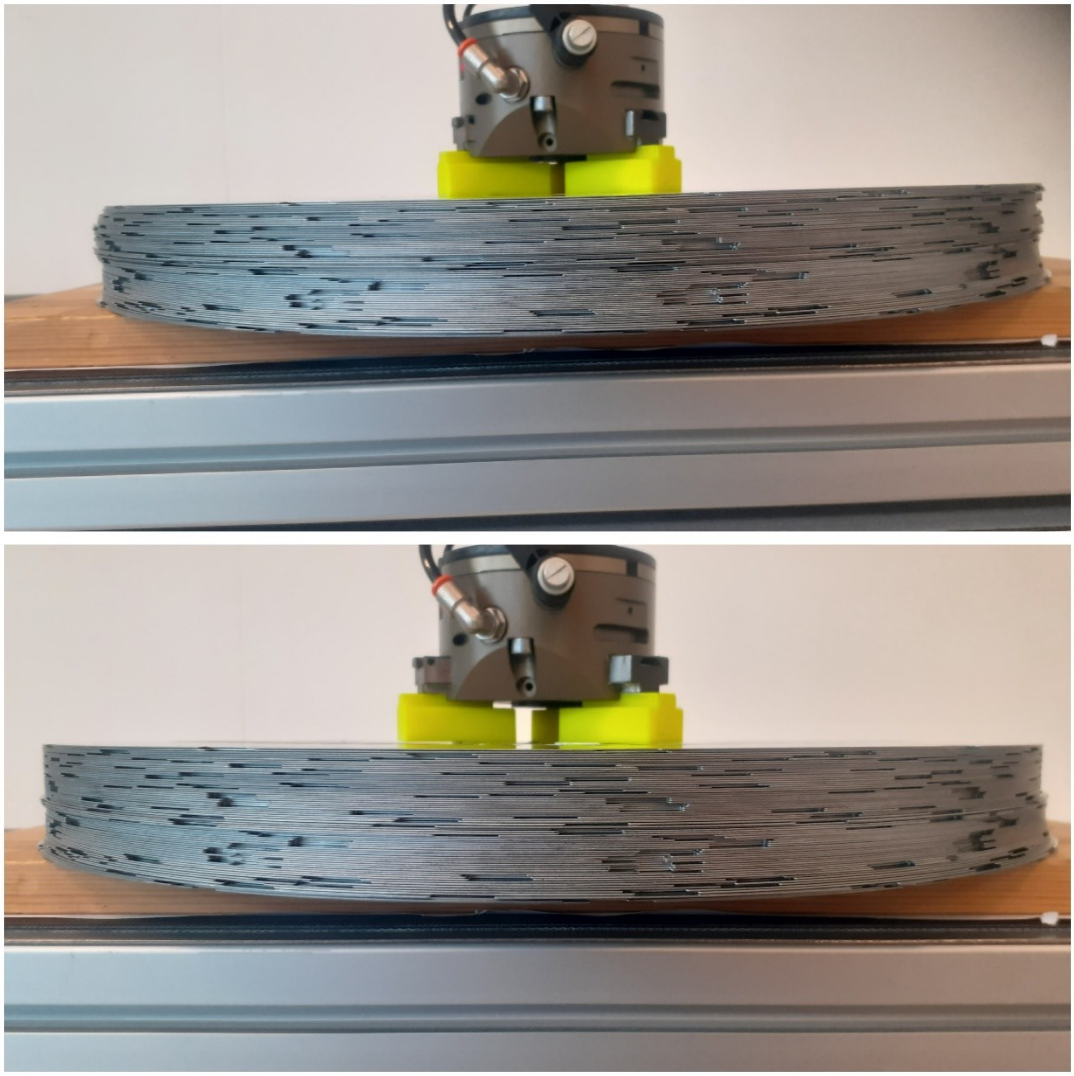
Kuva 11. Suojapellit sormien tartuntapinnalla (Tuomaala, 2023).

Laboratoriossa on IRB 2400 -mallinen ABB:n teollisuusrobotti (Kuva 12), joka kävi hyvin tarttujan testaamiseen.



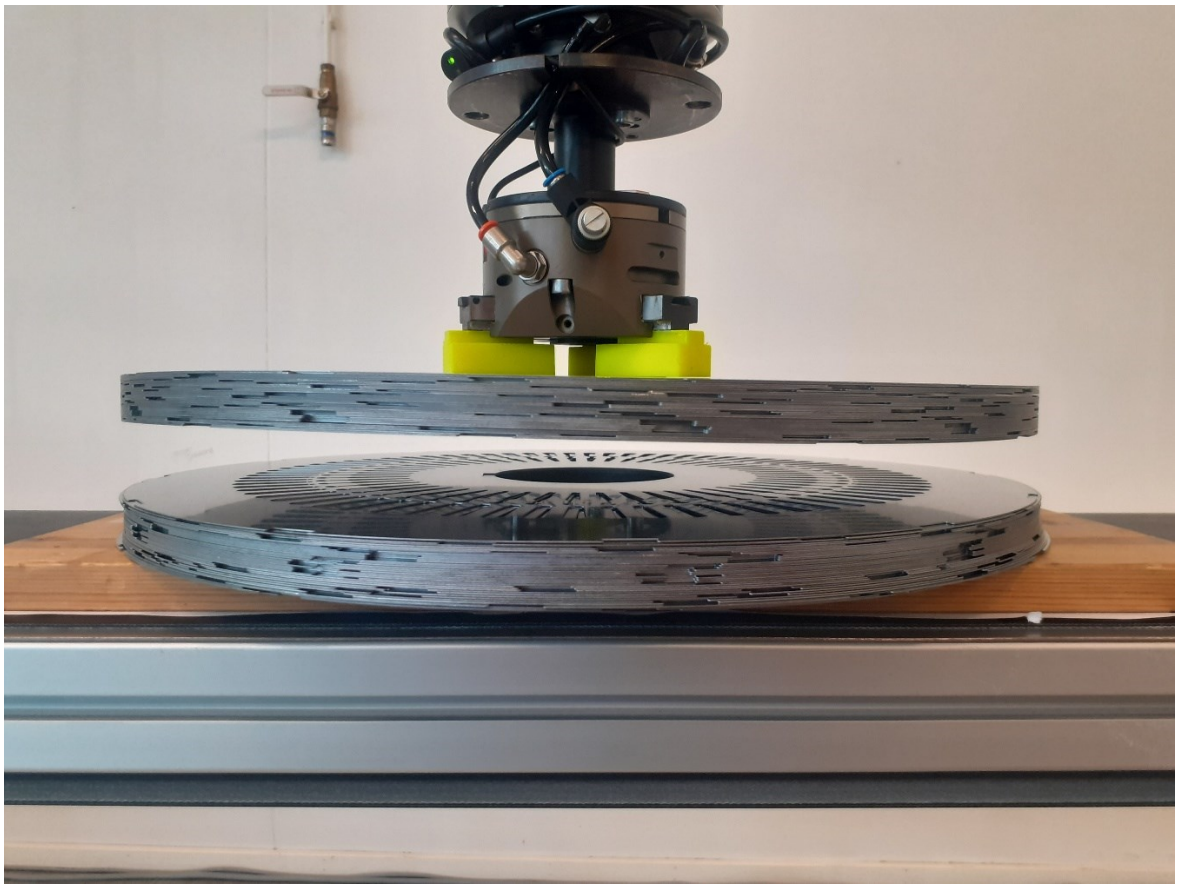
Kuva 12. Seinäjoen ammattikorkeakoulun robotiikan laboratoriossa sijaitseva IRB 2400 -teollisuusrobotti (Tuomaala, 2023).

Testauksilla oli tarkoitus myös selvittää, miten hyvin tarttujalla saadaan keskitettyä nostettavat levyt niin, että makasiiniin ladonta olisi mahdollista. Samalla saadaan myös selville tarttujaan tarvittava tartuntavoima. Testeissä ilmeni, että käytetty tartuntavoima riittää levyjen keskittämiseen (Kuva 13). Testeissä käytetyn tarttujan tartuntavoima on aukaistaessa noin 2000 N.



Kuva 13. Tarttuja kiinni asennossa (ylempi kuva), tarttuja auki-asennossa (alempi kuva) (Tuomaala, 2023).

Kuvan 13 ylemmässä kuvassa nähdään levyjen ulkoreunoista, että levyt ovat epätasaisesti pinossa ennen tartuntaa. Alemmassa kuvassa tarttuja on aukaistu ja levyjen ulkoreunoista näkee, että noin puolet pinon levyistä ovat keskittyneet tartunnan voimasta. Tartuntavoiman todettiin riittävän myös levyjen nostovaiheessa (Kuva 14).



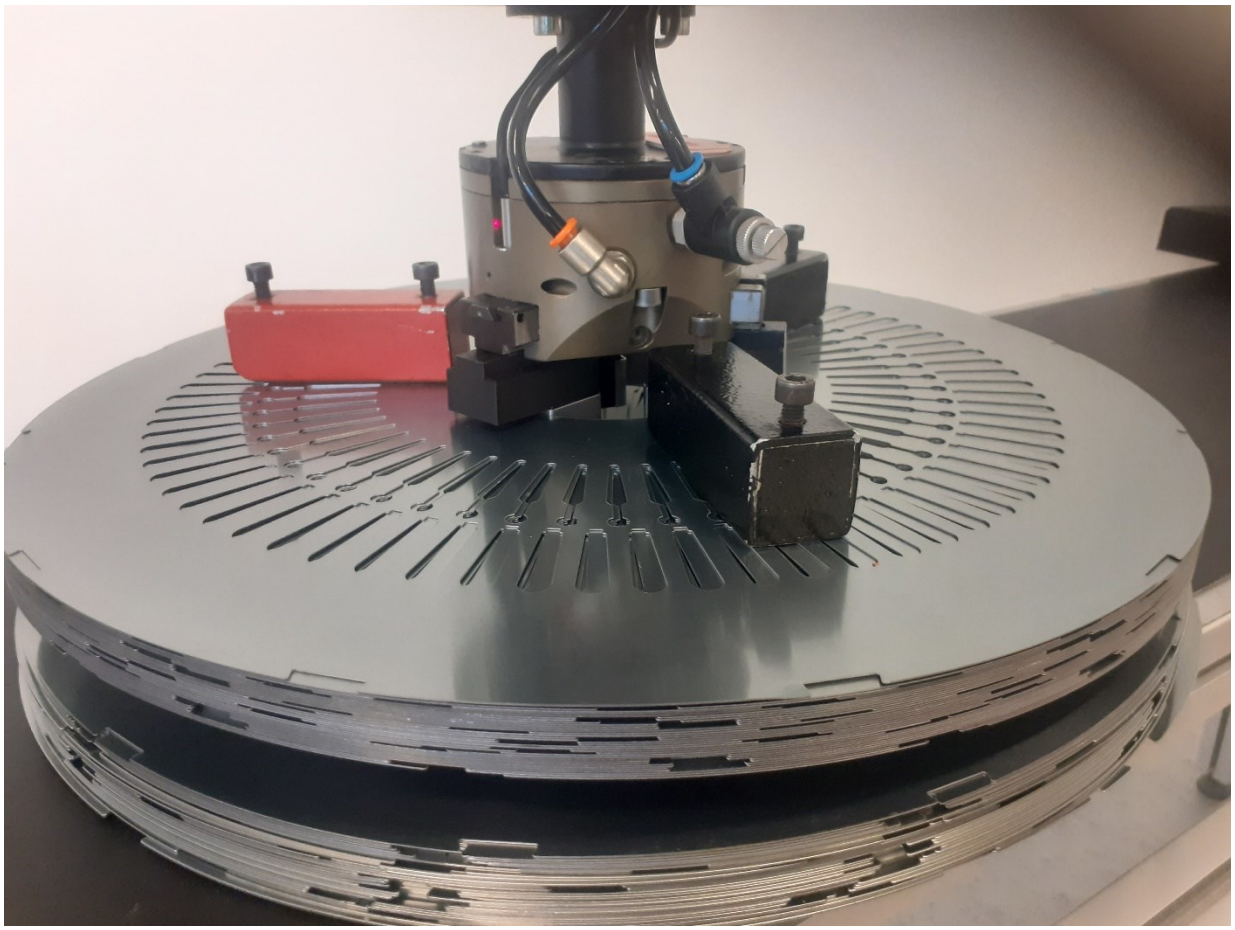
Kuva 14. Tarttujan voima riitti myös levyjen nostamiseen (Tuomaala, 2023).

Levyt ovat vain 0,5 mm:n paksuisia ja levypinot eivät ole aina täysin horisontaalisesti suorassa tarttujaan nähden, mikä johtuu esimerkiksi kuormalavoista, joiden päällä levyt ovat. Testialusta ei ollut myöskään suorassa, joten saatiin todenmukainen tulos.

Epäsuoran tartunnan syystä suunnitteluvaiheessa epäiltiin, että alin tai useampi alempi levy ei nouse kunnolla mukaan ja jää roikkumaan kahden sormen varaan ja tippuu nostaessa huonosti pinon päälle niin, että seuraava nosto ei ole mahdollinen. Näin ei kuitenkaan tapahtunut kertaakaan noin 100:n toiston aikana. Ne viimeiset levyt, joihin kaikki kolme tarttujan sormea eivät vastanneet, jäivät siististi pinoon.

6.3 Huomioita tarttujan toteuttamiseen

Kun robottia liikutetaan lähempänä täyttä nopeutta tai pitkän odotuksen jälkeen, alimmainen levy kuitenkin tippui satunnaisesti. Tarttujan avuksi oli jo suunniteltu sähköohjattuja magneetteja varmistamaan levyjen pysyminen makasiiniin viemisen ajaksi. Testauksessa kokeiltiin tavallisia magneetteja, mutta niiden magneettiteho ei riittänyt alimmaiseen levyyn (Kuva 15).

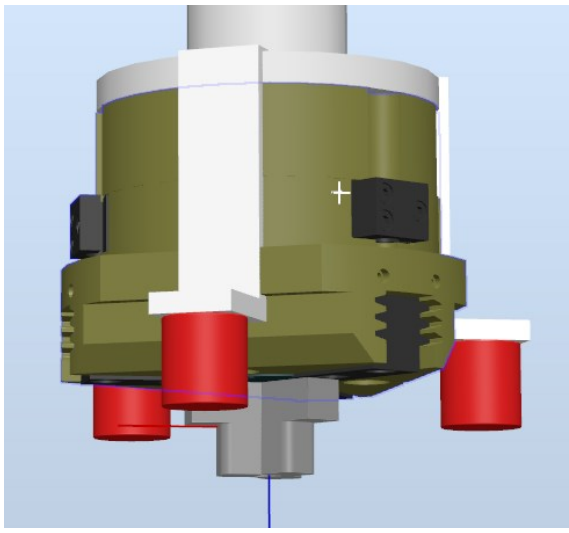


Kuva 15. Tavallisilla magneeteilla kokeiltiin estää viimeisen levyn tipahtaminen (Tuomaala, 2023).

6.3.1 Varmistus levyjen viennissä

Nostovaihe on suunniteltu niin, että tartunnan jälkeen nostettaisiin levyjä noin 30 mm, minkä jälkeen sähkömagneetit kytketään päälle. Magneetin teho säädettäisiin niin sopivaksi, että magneettiteho riittäisi alimmaisen levyn kannatteluun. Magneettitehon ei pitäisi kuitenkaan riittää ylimpään levyyn, joka nostossa jää vielä pinoon. Magneettien tehoa pystytään säätämään ohjelmallisesti, jotta saadaan eri painoisille levyille oikea teho.

Magneetit kiinnitettäisiin tarttujan vierelle, ja magneettien alapinnat tulisivat samalle tasolle tarttujan sormien yläpintojen kanssa (Kuvio 10).

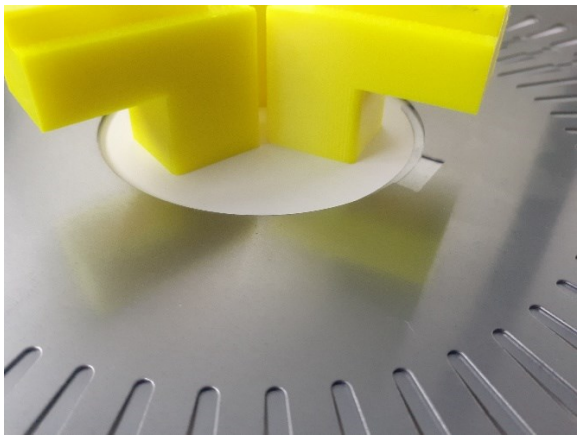


Kuvio 10. Kuvakaappaus RobotStudiosta suunnitellusta tarttujasta (Tuomaala, 2023).

6.3.2 Pinojen viimeiset levyt

Koska levypinot eivät ole aina suorassa tarttujaan nähden ja levyjen paksuus on vain 0,5 mm, pinojen kolmea viimeistä levyä ei pysty nostamaan. Vaikka levypinot olisivatkin täysin suorassa, niin viimeisen levyn nosto olisi kuitenkin hankalaa.

Tämä ongelma pystyttäisiin ratkaisemaan myös tarttujaan suunnitelluilla sähkömagneeteilla. Tarttuja ajettaisiin niin alas kuin mahdollista (Kuva 16), minkä jälkeen magneetit kytketään päälle nostamaan levyt ylös. Tämän jälkeen tarttuja avataan, jotta saadaan levyt keskitettyä. Tarttujan avaamisen jälkeen voidaan vielä käyttää magneetteja vähäksi aikaa pois päältä, jotta varmistetaan levyjen keskittäminen. Mutta vaakasuunnassa levyt liikkuvat kuitenkin helpommin, vaikka magneetit olisivatkin päällä.



Kuva 16. Tarttuja ajettuna poimimaan pinon viimeisiä levyjä (Tuomaala, 2023).

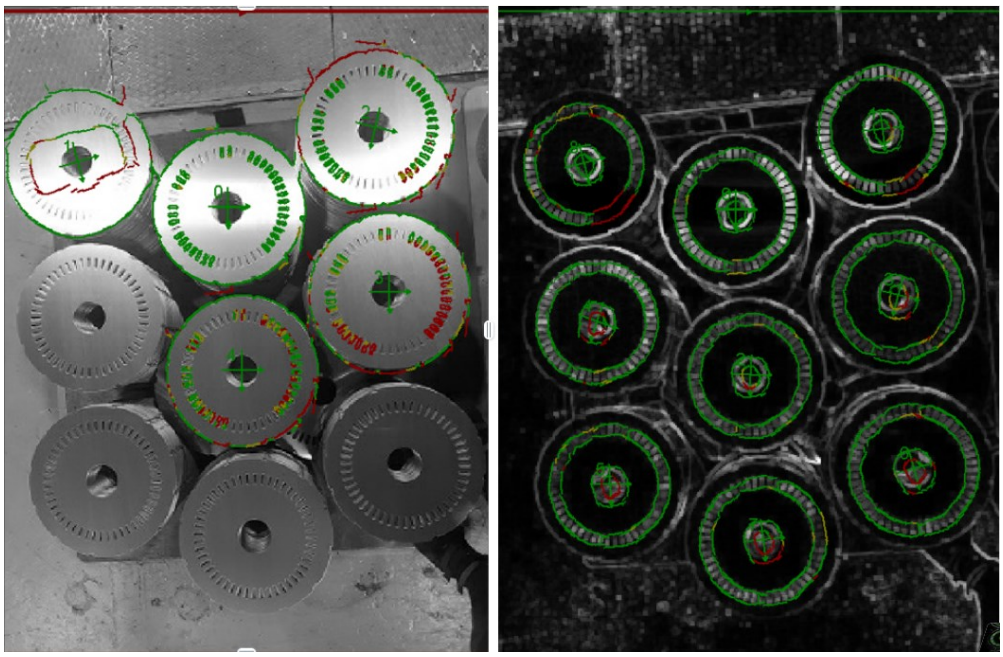
7 KUVA-ANALYYSI

Konenäön kuva-analyysi tehtiin In-Sigth Explorer 6.2.1 -ohjelmalla. Kuva-analyysillä tarkasteltiin levypinojen paikannusmahdollisuutta sekä levyjen virheasentojen havaitsemista. Kuvat on otettu puhelimen kameralla, ja kuvaushetkellä valaistuksen suhteen ei olla tehty toimenpiteitä. Varsinkin kohteen oikeanlaisella valaistuksella saataisiin tarkempia tuloksia. Laitepuutteista huolimatta haettiin kuitenkin alustavaa näkemystä konenäön käyttöönottoon ja esiselvitystä asiaan liittyen.

7.1 Levypinojen paikannus

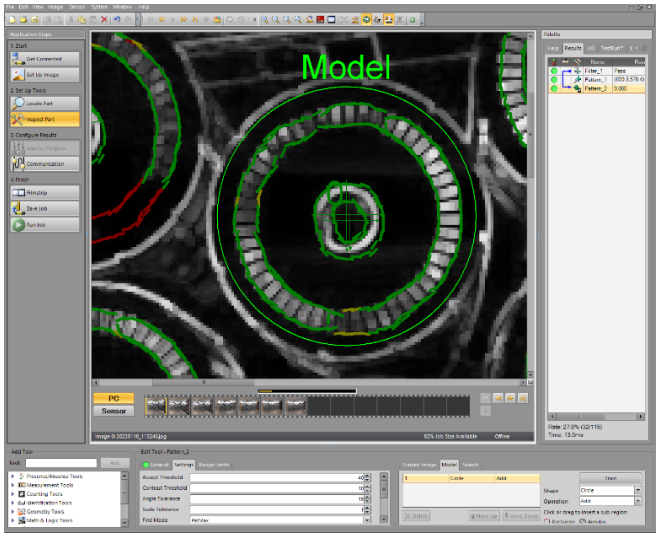
Levypinojen saapuessa soluun otetaan kuva koko lavasta, jotta saadaan levypinojen määrät ja sijainnit robotille. Kuva-analyysissä täytyy ensin opettaa paikannettavan kappaleen malli. Paikannuksen jälkeen ohjelma osaa etsiä tunnistustyökalun avulla levypinot ja niiden sijainnit, vaikka pinojen paikat vaihtelevat.

Kuvassa piti käyttää filtterityökalua. Paras tulos saatiin ”Edge Magnitude” -filtterityypillä, jolla saadaan korostettua reunamuotoja (Kuvio 11). Filtteriä käyttämällä levypinot saatiin paikannettua hyvin.



Kuvio 11. Kuvakaappaus In-Sigth Explorer -ohjelmistosta. Vasemmalla kuva ilman filtteriä, oikealla kuva filtterin kanssa (Tuomaala, 2023).

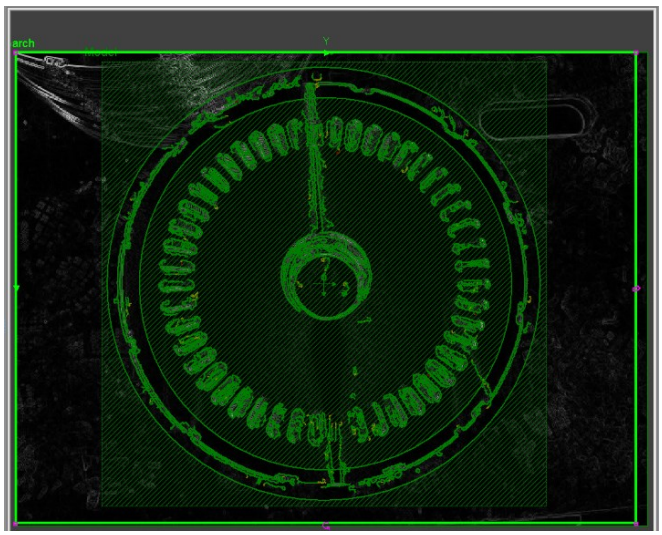
Tarkin tulos saatiin, kun määritettiin etsittävä malli siten, että rajattiin levyjen ulkoreunat opetettavasta mallista pois (Kuvio 12).



Kuvio 12. Kuvakaappaus In-Sigth Explorer -ohjelmistosta. Levyjen ulkoreunoja ei otettu huomioon opetetussa mallissa (Tuomaala, 2023).

7.2 Levyjen virheasentojen tarkastelu

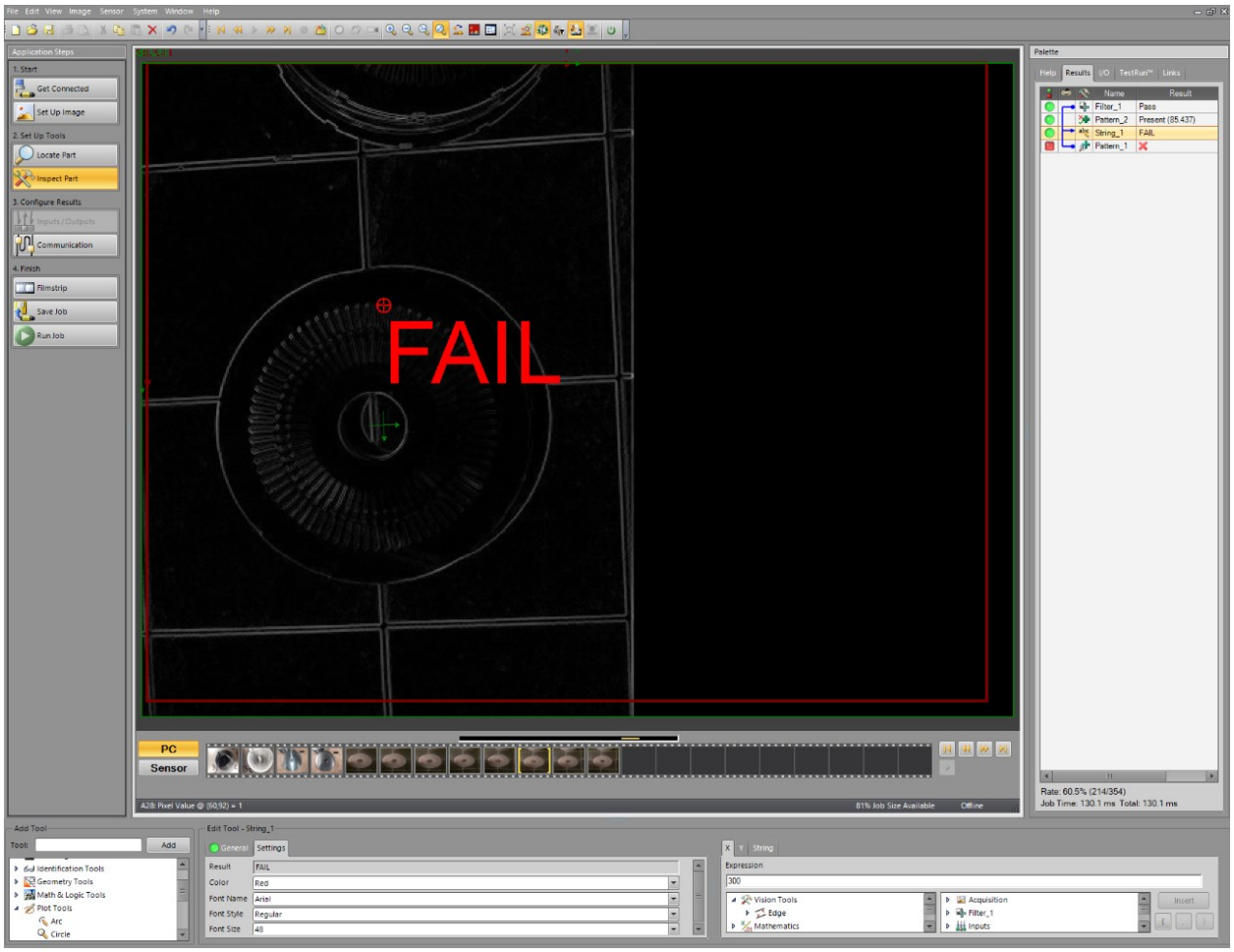
Virheasentojen tarkastelua ei ollut mahdollista suorittaa samalla, kun levypinoja paikannettiin, vaan oli otettava uusi kuva suoraan yksittäisen pinon yläpuolelta. Levyjen keskireikä piti rajata pois kuvan tarkastelusta (Kuvio 13), koska alempien levyjen sisäreikien reunat näkyvät kuvakulman takia, vaikka pino olisikin suorassa.



Kuvio 13. Kuvakaappaus In-Sigth Explorer -ohjelmistosta. Maskityökalulla rajattiin näkyviin vain levyjen ulkoreunat (Tuomaala, 2023).

Lisäksi kuva-analyysi ei huomioi virheasentoja liian aikaisin, kun pinojen alimpien levyjen ulkoreunat eivät näy heti kuvassa, vaan vasta sitten kun poimintapiste lähestyy vinossa olevaa levyä. Tämä vähentää operaattorin työtä, kun mahdollisissa virhetilanteissa ei tarvitse nostella levyjä pinoista pois korjattavan levyn päältä.

Ohjelma vertaa kuvaa opetettuun kuvaan ja antaa virheilmoituksen sekä pysäyttää ohjelman, jos muoto poikkeaa yli asetettujen rajojen (Kuvio 14). Virheilmoituksen herkkyyttä pystytään säätämään.



Kuvio 14.Kuvakaappaus In-Sigth Explorer -ohjelmistosta. Ohjelma ilmoittaa pinossa väärin olevasta levystä (Tuomaala, 2023).

8 YHTEENVETO JA TULOKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja verifioida toimiva automaatiosolu, jossa staattori- ja roottorilevyjä pinotaan prässin makasiiniin robotin ja konenäön avulla. Tarkoituksena oli automatisoida nykyiset, raskaat ja toistuvat manuaaliset työt robotin tehtäväksi.

Työ aloitettiin solun ja siihen kuuluvien oheislaitteiden mallintamisella ja solun simuloinnilla Solid Edge- ja RobotStudio-ohjelmilla. Solid Edge -ohjelmalla mallinnettiin suurin osa oheislaitteista ja RobotStudiolla suoritettiin layoutin toteutus, solun simulointi ja ohjelmointi.

Tarttujan testaukset suoritettiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun robotiikan laboratoriossa sijaitsevalla robotilla ja Schunkin paineilmakäyttöisellä 3-sormitarttujalla. Lisäksi laboratoriossa sijaitsevalla 3D-tulostimella tulostettiin suunnitellut tartuntasormet. Lopuksi tehtiin kuva-analyysi In-Sigth Explorer 6.2.1 -ohjelmalla, jolla selvitettiin levypinojen paikoituksen ja levyjen virheasentojen tarkastelun mahdollisuutta konenäöllä.

Mallinnuksilla ja simuloinnilla saatiin varmistettua suunnitellun layoutin toteutusmahdollisuudet sekä vaatimusten mukaan valittujen laitteiden sopivuus soluun. Levyjen poimintasykli todettiin riittävän nopeaksi, ja siihen jäi vielä hyvin varaa mahdollisten muuttujien varalta.

Tarttujan testaukset ja tartuntasormien malli onnistui yllättävänkin hyvin heti ensimmäisellä testikerralla. Levyjä oli tarkoitus nostaa levyjen keskireiästä noin 20 kpl kerralla niin, että levyt keskittyvät samalla toisiinsa nähden. Toistoja tehtiin noin 100 kertaa. Ennalta pelättyä alimmaisen levyn tippumista seuraavan poiminnan tielle tai alimmaisen levyn kahden tartuntasormen varaan jäänyttä tilannetta ei nostovaiheessa tapahtunut kertaakaan. Levyjen keskitys onnistui myös hyvin jokaisessa toistossa, ja näin saatiin selville myös tarttujan vaadittava voima.

Alimmainen levy tippui kuitenkin myöhemmin, kun robottia liikuteltiin tai annettiin levyjen olla kauan tarttujassa. Tämäkin tapahtui vasta, kun robottia ajettiin täydellä teholla tai annettiin levyjen olla tarttujassa useamman minuutin. Tarttujaan oli suunniteltu sähkömagneetteja varmistamaan levyjen pysyminen tarttujassa makasiiniin viennin ajan, mutta niitä ei testitilanteessa ollut käytössä. Kun otetaan huomioon testitilanteessa käytetty tartuntasormien materiaali, joka antoi periksi, ja sormien tartuntapintaan lisättyjen peltien epäsuoruus, voitiin todeta tarttuja tähän sovellukseen erittäin hyvin toimivaksi.

Kuva-analyysissä käytössä olevat kuvat oli otettu puhelimen kameralla ja valaistusta ei ollut säädetty kuvaushetkellä. Analyysissä onnistuttiin kuitenkin kuvanmuokkauksilla paikoittamaan levypinot ja havaittiin mahdolliset levyjen virheasennot. Ennen solun toteutusta olisi tehtävä tarkempi kuva-analyysi kohteeseen sopivalla konenäkökameralla ja oikeanlaisella optiikalla, linssillä ja valaistuksella. Kuva-analyysin testausolosuhteet huomioon ottaen voidaan todeta, että levyjen poimiminen konenäön avulla onnistuu hyvin.

Työn tavoitteet täyttyivät ja työ luovutettiin kohdeyritykselle. Työn tuloksien perusteella kohdeyritys pystyy toteuttamaan toimivan automaatiosolun.

LÄHTEET

ABB. (i.a.-a). *ABB Oy, IEC LV Motors: Pienjännitemoottoreita Vaasasta jo vuodesta 1944.* https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/iec-lv-motors

ABB. (i.a.-b). *ABB Oy, Large Motors and Generators: Energia- ja tuotantotehokkuutta yli 130 vuoden ajan.* https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/liiketoiminnat/large-motors-and-generators

ABB. (i.a.-c). IRB 4600: Key features. https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-4600

ABB. (2013). *Operating manual: Introduction to RAPID.* *http://rovart.cimr.pub.ro/docs/OpIntroRAPID.pdf*

Bouchard, S. (5.4.2014). *Servo-Electric Gripper: How does work*. ROBOTIQ. https://blog.robotiq.com/bid/54909/Servo-Electric-Gripper-How-Does-It-Work

Cognex. (i.a.). *Introduction to machine vision: A guide to automating process & quality improvements.* https://www.cognex.com/what-is/machine-vision/components/communications

Hirvonen, J. (16.5.2022). *Metalliosien mittaus konenäöllä – käytännön esimerkki: TKI, Älykkäät ja energiatehokkaat järjestelmät.* Seinäjoen ammattikorkeakoulu. https://lehti.seamk.fi/alykkaat-ja-energiatehokkaat-jarjestelmat/metalliosien-mittaus-konenaolla-kaytannon-esimerkki/

Hänninen, P. (2022). *Robotiikka ja tekoäly*. Tammertekniikka / Amk-Kustannus.

Labudzki, R., Legutko, S., & Raos, P. (2014). *The essence and applications of machine vision.* https://www.researchgate.net/publication/286283684_The_essence_and_applications_of_machine_vision

Leino, M., Valo, P., & Kortelainen, J. (2014). Konenäköteknologian kustannustehokas hyödyntäminen. Teoksessa M. Leino (toim.), *Teknologiatiedolla tuottavuutta:*

Ammattikorkeakoulut kansainvälisen teknologiatiedon tulkkeina pk-yrityksille (s. 21–23). Satakunnan ammattikorkeakoulu. https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-633-134-1

Metropolia ammattikorkeakoulu. (28.11.2009). *Optiikka.* *https://wiki.metropolia.fi/display/koneautomaatio/Optiikka*

Microscan. (2012). *Eight tips for optimal machine vision lighting: Use color to create contrast.* https://cdn.thomasnet.com/ccp/10025951/168573.pdf

RobotWorx. (2022). *Grippers For Robots.* https://www.robots.com/articles/grippers-for-robots

SAMK automaation tutkimusryhmä. (i.a.). *Perinteiset konenäköjärjestelmät.* Satakunnan ammattikorkeakoulu. https://automaatio.samk.fi/testi-sivu/perinteiset-konenakojarjestelmat/

Schunk. (i.a.). *SCHUNK Hand in hand tomorrow: PZN-plus.* *https://schunk.com/de/de/greiftechnik/zentrischgreifer/pzn-plus/c/PGR_98?q=%3Apriority&page=9&teasersOpen=false*

Seinäjoen ammattikorkeakoulu. (i.a.). *Konenäkö & Robotiikka: Teknologiademot on the road.* https://docplayer.fi/17541471-Konenako-robotiikka-teknologiademot-on-the-road.html

Stemmer Imaging. (i.a.). *Line Scan applications.* *https://www.stemmer-imaging.com/en-gb/knowledge-base/cameras-line-scan-applications/*

Thinkbot Solution. (i.a.). *Categories: Grippers.* *https://thinkbotsolutions.com/collections/grippers/grip-actuation_electric*

Universal Robots. (6.9.2019). *Robot grippers explained: Magnetic grippers.* *https://www.universal-robots.com/blog/robot-grippers-explained/*

Zimmer Group. (i.a.). *Technologies & Components: Handling technology.* https://www.zimmer-group.com/en-us/technologies-components/components/handling-technology/grippers

LIITTEET

Liite 1. Simuloinnissa käytetty RAPID-ohjelmakoodi.

```
MODULE Module1
    CONST robtarget PickPoint:=[[700.00,200.00,419.00],[0.000000024,0.708313219,0.705898282,-0.000000023],[0,-1,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget place_Plates:=[[196.89,1325.00,439.00],[0.000000024,0.708313219,0.705898282,-0.000000023],[0,-1,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget Home:=[[0.00,978.56,1200.00],[0.000000024,0.708313219,0.705898282,-0.000000023],[0,-1,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];
    CONST robtarget via:=[[840.00,540.00,1140],[0.000000024,0.708313219,0.705898282,-0.000000023],[0,-1,1,0],[9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09,9E+09]];

    VAR num Z_Shift;
    VAR num Z_Shift_place:=0;
    VAR num X_Shift;
    VAR num Y_Shift;
    VAR num Plates_count:=0;

    PROC Initialize()
        Reset DO_Gripper_open;
        Set DO_Gripper_open;
        WaitTime 0.2;
        Reset DO_Gripper_open;
        Reset DO_create4plate;
        Set DO_create4plate;
    ENDPROC

    PROC Main()
        initialize;
        FOR k FROM 1 TO 4 DO
            X_Shift:=0;
            IF k=2 THEN
                X_Shift:=140;
            ENDIF
            IF k=4 THEN
                X_Shift:=140;
            ENDIF
            FOR j FROM 1 TO 3 DO
                Z_Shift:=0;
                FOR i FROM 1 TO 16 DO
                    Pick_Plates;
                    place_plate;
                    Plates_count:=Plates_count+1;
                    IF Plates_count=28 THEN
                        Go_Home;
                    ENDIF
                    Z_Shift_place:=Z_Shift_place+20;
                    Z_Shift:=Z_Shift+20;
                ENDFOR
                X_Shift:=X_Shift+280;
            ENDFOR
            Y_Shift:=Y_Shift+240;
        ENDFOR
    ENDPROC

    PROC Pick_Plates()
        MoveJ Offs(PickPoint,0+X_Shift,0-Y_Shift,500-Z_Shift),v2000,z50,pzn\WObj:=wobj0;
        MoveL Offs(PickPoint,0+X_Shift,0-Y_Shift,370-Z_Shift),v200,fine,pzn\WObj:=wobj0;
        MoveL Offs(PickPoint,0+X_Shift,0-Y_Shift,319-Z_Shift),v50,fine,pzn\WObj:=wobj0;
        Set DO_Gripper_open;
        WaitDI DI_Gripper_opened,1;
        MoveL Offs(PickPoint,0+X_Shift,0-Y_Shift,370-Z_Shift),v50,fine,pzn\WObj:=wobj0;
        MoveL Offs(PickPoint,0+X_Shift,0-Y_Shift,500-Z_Shift),v200,fine,pzn\WObj:=wobj0;
        MoveJ Offs(PickPoint,0+X_Shift,0-Y_Shift,700-Z_Shift),v1000,z50,pzn\WObj:=wobj0;
        MoveJ Offs(via,0,0,0),v1000,z200,pzn\WObj:=wobj0;
    ENDPROC

    PROC place_plate()
        MoveJ Offs(place_Plates,0,0,670),v500,z50,pzn\WObj:=wobj0;
        MoveL Offs(place_Plates,0,0,565),v50,fine,pzn\WObj:=wobj0;
        MoveL Offs(place_Plates,0,0,50+Z_Shift_place),v200,fine,pzn\WObj:=wobj0;
        MoveL Offs(place_Plates,0,0,0+Z_Shift_place),v50,fine,pzn\WObj:=wobj0;
        Reset DO_Gripper_open;
        WaitDI DI_Gripper_closed,1;
        MoveL Offs(place_Plates,0,0,50+Z_Shift_place),v50,fine,pzn\WObj:=wobj0;
        MoveL Offs(place_Plates,0,0,650),v500,fine,pzn\WObj:=wobj0;
        MoveJ Offs(via,0,0,0),v2000,z200,pzn\WObj:=wobj0;
    ENDPROC

    PROC Go_Home()
        MoveJ Offs(Home,0,0,0),v2000,z50,pzn\WObj:=wobj0;
    ENDPROC
ENDMODULE
```