



Joonas Ikonen

# Taajuusmuuttajan kokoonpanolin- jaston automaatio selvitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Opinnäytetyö

1.5.2022

# Tiivistelmä

Tekijä: Joonas Ikonen  
Otsikko: Taajuusmuuttajan kokoonpanolinjaston automaatio selvitys  
Sivumäärä: 37 sivua  
Aika: 1.5.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)  
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka  
Ohjaajat: Operations Development Manager Timo T. Rissanen  
Production Development Engineer Sami Mustonen  
Lehtori Markku Inkinen

---

ABB Oy:n R9-taajuusmuuttajan kokoonpanolinjasto uusitaan. ABB tilasi R9-taajuusmuuttajan kokoonpanolinjastosta automaatio selvityksen, joka toteutettiin insinööriopintojen opinnäytetyönä. Automaatio selvitys tehtiin valmistettavan R9-taajuusmuuttajan kokoonpanoprosessin näkökulmasta. Automaatio selvityksen tarkoituksena oli tunnistaa automaation hyödyntämisen mahdollisuutta kokoonpanolinjaston eri vaiheissa.

Selvitystä varten perehdyttiin automaatiota käsittelevään kirjallisuuteen ja nykyisen kokoonpanolinjaston ohjeistukseen sekä käytiin tehtaalla tutustumassa linjaston eri työvaiheisiin. Eri työvaiheiden osalta verrattiin robotin ja cobotin käytön tuomia etuja.

Automaatio selvityksen perusteella päädyttiin suosittelemaan R9-taajuusmuuttajan kokoamisprosessin automatisointia cobottia hyödyntäen. Cobotilla saavutetaan ajallista hyötyä ja sen avulla on mahdollista vähentää laatu poikkeamia.

Insinööriyön perusteella R9-taajuusmuuttajan kokoonpanolinjasto pystytään cobotin ja asennuskehikon avulla osittain automatisoimaan sekä linjaston kokoonpanotyöt uudelleen vaiheistamaan.

Avainsanat: automaatio, robotiikka, taajuusmuuttaja, kokoonpanolinjasto

## Abstract

Author: Joonas Ikonen  
Title: Automation Report of the Frequency Converter Assembly Line  
Number of Pages: 37 pages  
Date: 1 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Electrical and automation Engineering  
Professional Major: Automation Engineering  
Supervisors: Timo Rissanen, Operations Development Manager  
Sami Mustonen, Production Development Engineer  
Markku Inkinen, Senior Lecturer

---

ABB Oy is going to renew their R9 frequency converter assembly line. ABB commissioned an automation study for the R9 frequency converter assembly line, which worked as thesis in engineer studies. The automation report was performed from the perspective of the assembly process of R9 frequency converter. Purpose of the automation report was to identify different assembly stages, where automation could be implemented.

For the automation report, the theory of automation was studied and the instructions of the product assembly line were reviewed. There was a factory visit to understand how the various stages of assembly line worked. In addition, the benefits of using a robot or a cobot were compared in different assembly stages.

Based on the automation report, it was recommended to use a cobot for the assembly process of the R9 frequency converter. Time benefits and reduced quality deviations can be achieved by a cobot.

Based on this study, it can be established that the assembly line of the R9 frequency converter can be partially automated by a cobot and a mounting frame, as well as the assembly work of the line can be re-phased.

Keywords: automation, robotics, frequency converter, assembly line

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	ABB Oy	1
3	Taajuusmuuttaja R9-kokoonpanolinjaston nykytilan kuvaus	2
4	Automaatio ja Automaatiolinjaston komponentit	3
4.1	Taajuusmuuttaja	3
4.2	Automaatio	4
4.3	Anturit	5
4.3.1	Erillinen lähetin ja vastaanotin -anturi	6
4.3.2	Lähetin-vastaanotin-anturi peilillä	7
4.3.3	Lähetin-vastaanotin-anturi ja heijastava kappale	8
4.4	Konenäkö	8
4.5	Turvalaiteet	10
4.6	Robotti ja cobotti	11
5	Suunnittelu ja työn eteneminen	14
5.1	R9-taajuusmuuttajien kokoamisvaiheet	14
5.1.1	Työvaihe 1	14
5.1.2	Työvaihe 2	22
5.1.3	Työvaihe 3	25
6	Vaihtoehtojen pohdinta	26
6.1	Robotti vai cobotti	26
6.2	Cobotin käyttö R9-taajuusmuuttajalinjastossa	27
6.2.1	Cobotin käyttö työvaiheessa 1	28
6.2.2	Cobotin käyttö työvaiheessa 2	29
6.3	Läpimenoaika	30
6.4	Cobotin kokoonpano	33
7	Yhteenveto	34
	Lähteet	36

## **Lyhenteet**

Cobot: Collaborative robot, yhteistyörobotti.

PLC: Programmable logic controller, ohjelmoitava logiikka.

## 1 Johdanto

ABB Oy R9-taajuusmuuttajan kokoonpanolinjastoa ollaan uusimassa. Valittavien ratkaisujen ja suunnittelun tueksi ABB Oy halusi teettää automaatio selvityksen. Automaatio selvityksen perusteella halutaan saada lisätietoa automaatio tason nostomahdollisuuksista sekä tunnistaa tekijöitä, joilla voidaan parantaa läpimenoaikaa, kustannustehokkuutta, laatua ja työturvallisuutta.

Automaatio selvitys tehdään R9 taajuusmuuttajan ja sen kokoonpanovaiheiden näkökulmasta. Selvityksen avulla pyritään tunnistamaan sellaisia kokoonpanovaiheita, jotka on mahdollista automatisoida. Lisäksi selvitetään, millä keinoin automatisointi on mahdollista toteuttaa. Tunnistettujen ratkaisujen läpimenoaika ja kustannustehokkuutta sekä laatuun ja työturvallisuuteen vaikuttavia asioita vertaillaan eri ratkaisujen välillä. Lisäksi selvityksessä huomioidaan muita esiin tulevia ja mahdollisesti valintaan vaikuttavia tekijöitä, kuten ergonomiaa.

## 2 ABB Oy

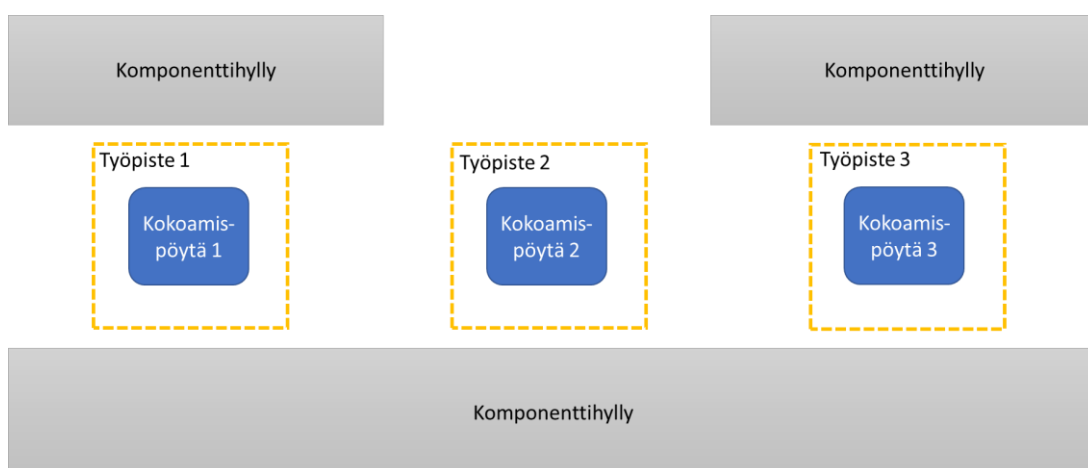
ABB Oy on sveitsiläinen teknologialan yritys, joka toimii yli 100 maassa. Kaiken kaikkiaan yrityksessä työskentelee noin 105 000 eri alan ammattilaista. ABB:n toimialueita ovat sähkötekniikka, automaatiotekniikka, prosessiautomaatio, robotiikkaa ja liiketekniikka. (1;2.)

Suomessa ABB:lla on toimintaa noin 20 paikkakunnalla. Tehdastoimintaa on Vaasassa, Haminassa, Porvoossa sekä Helsingin Pitäjämäessä että Vuosaarissa. Vaasan tehtaalla valmistetaan moottoreita, pienjännitetuotteita ja -järjestelmiä, sähkön siirto- ja jakelujärjestelmiä sekä voimantuotannon järjestelmiä. Haminassa sekä Helsingin Vuosaarissa tehdään Azipod -ruoripotkurijärjestelmiä. Porvoossa tuotetaan sähköasennustuotteita. Helsingin Pitäjänmäen tehtaalla tehdään moottoreita, generaattoreita ja taajuusmuuttajia. (3.)

### 3 Taajuusmuuttaja R9-kokoonpanolinjaston nykytilan kuvaus

ABB:n taajuusmuuttaja R9-kokoonpanolinjastolla voidaan valmistaa kahdenlaisia R9-taajuusmuuttajia, ACx580-01- ja ACS880-01-taajuusmuuttajia. Kokoonpanolinjasto on jaettu kolmeen kokoamisvaiheeseen, ja kullekin vaiheelle on oma työpiste ja kokoamispöytä. Linjaston kokoamispaikkoina toimivat renkailla liikutettavat työpöydät. Kokoamispöydän alustaa pystyy nostamaan, laskemaan ja kääntämään eri suuntiin, jolloin kokoonpanijan ei tarvitse liikkua työpisteellä kokoamispöydän ympärillä. Kokoonpanijan työpisteen läheisyydessä on komponenttihillyt, johon on sijoitettuna kyseiseen kokoamisvaiheeseen tarvittavat komponentit (kuva 1). Kokoamispöydät ovat siirrettäviä, mutta niille on määriteltä vakiopaikka kokoonpanolinjastolla. Näin vältetään kulkureittien tukkeutuminen.

Kun taajuusmuuttajan ensimmäinen tai toinen kokoamisvaihe on saatu päätökseen, taajuusmuuttajan siirto seuraavaan kokoamisvaiheeseen tapahtuu siirtämällä kokoamispöytä seuraavan vaiheen työpisteeseen. Tuotteen siirto tapahtuu työpöydän avulla. Viimeisen eli kolmannen kokoamisvaiheen jälkeen taajuusmuuttaja nostetaan nostimella linjastolta pois ja siirretään testausvaiheeseen. Vapautunut kokoamispöytä palautetaan takaisin ensimmäisen vaiheen työpisteelle.



Kuva 1. R9-kokoamislinjaston nykytila, työpisteet on kuvattu katkoviivoin

## 4 Automaatio ja Automaatiolinjaston komponentit

### 4.1 Taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttaja on laite, jota käytetään vaihtosähkömoottorin tai -generaattorin ohjaamisessa. Ohjaaminen tapahtuu siten, että taajuusmuuttaja muuttaa tehosyötön taajuutta ja jännitettä. Näitä säätämällä taajuusmuuttaja säätää moottorin nopeutta ja pyörimissuuntaa. Moottorin nopeutta säädetään useasta erisyystä, kuten järjestelmän tehokkuuden parantamiseksi tai koneiden mekaanisten rasittumisten vähentämiseksi. Taajuusmuuttajia on ominaisuuksiltaan erilaisia (kuva 2). Oikeanlaisen taajuusmuuttajan valintaan vaikuttaa muun muassa ohjattavan moottorin teho ja sen käyttöympäristö. Lisäksi on huomioitava taajuusmuuttajan käyttöympäristö. Tarvitseeko sen olla vesitiivis tai sijoitetaanko se paikkaan, joka edellyttäisi lisäämään siihen suodattimen suojaamaan sitä esimerkiksi pölyltä ja hiekalta (4)?



Kuva 2. Eri kokoluokan taajuusmuuttajia



## 4.2 Automaatio

Automaatiotekniikassa laite tai kone tekee joko kaiken tai osan ihmisen tekemästä työstä tai vaihtoehtoisesti työskentelee yhdessä ihmisen kanssa vähentämällä ihmisen tekemää työmäärää tai avustamalla jotain tiettyä työvaihetta. Automaatiota hyödynnetään useissa eri ympäristöissä, esimerkiksi palvelu- ja tuotantoprosesseissa (kuva 3).

Nykypäivänä automaatiota ollaan hyödyntämässä laajasti muun muassa verkkokaupassa. Suomessa Kesko on rakentamassa automaatioavusteista keräilyjärjestelmää ruokakauppansa verkkokauppaan tehostaaksensa tuotteiden keräystehoa (5;6). Keskon tulevassa keräilyjärjestelmässä osan verkkokauppatilusten keräilystä tehdään robotteja hyödyntäen. Kesko on arvioitu keräilytehon nousevan jopa nelinkertaiseksi. Pullonpalautusautomaateissa hyödynnetään myös automaatiota. Laite lajittelee erityyppiset pullot toistaan automaation avulla.

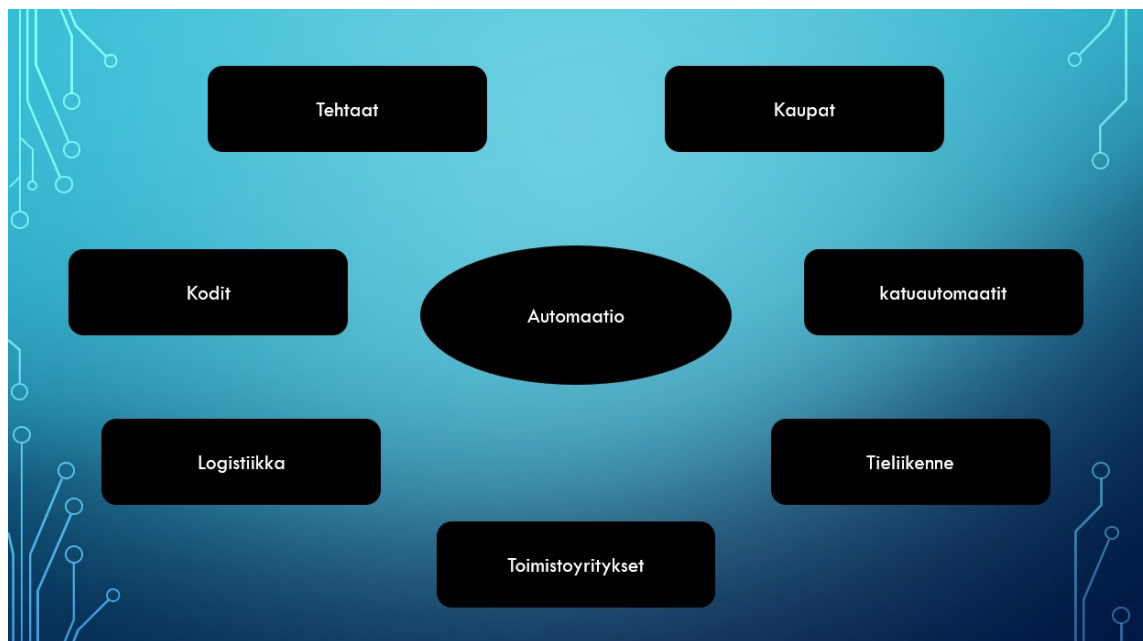
Tieliikenteessä automaatiota käytetään liikenteen ohjauksessa. Automaation avulla tunnistetaan liikennevirrat valoristeyksissä ja sen perusteella ohjataan liikennevalojen toimintaa. Liikenteen ohjauksen automaatiota hyödynnetään myös hätäajoneuvojen ja bussiliikenteen priorisointiin suhteessa muuhun liikenteeseen.

Logistiikan puolella automaatiota hyödynnetään tuotteiden keräilyssä automaattitrukkien ja -robottien avulla. Automaation avulla on myös mahdollista seurata tuotteiden määrää ja tuotteen hälytysrajoja. Ja joissain tapauksissa jopa tuottaa automaattinen tilaus saldorajoja hyödyntäen.

Kiinteistöissä automaatiota on mahdollista käyttää muun muassa lämmityksen seuraamisessa ja säätämisessä sekä ohjata valojen syttymistä ja sammumista. Nykyisissä älykodeissa automaatiota hyödynnetään laajasti useissa talon teknisissä ratkaisuissa.

Tehtaissa automaation avulla on mahdollista saavuttaa monia hyötyjä. Automaatiota voidaan käyttää tuotantoprosessissa joko täysimääräisesti tai osaksi. Tuotantoprosessissa automaatio lisää tasalaatuisuutta ja useimmiten myös kustannustehokkuutta. Automaatioturvallitteiden voidaan myös lisätä työturvallisuutta. Tehtaissa tällä hetkellä yleistyviä automaatiolaitteita on robotit ja cobotit.

Edellä mainittujen käyttöympäristöjen lisäksi automaatioita hyödynnetään ja tullaan tulevaisuudessa yhä enemmän hyödyntämään eri tilanteissa ja eri käyttöympäristöissä joko suorasti tai epäsuorasti.

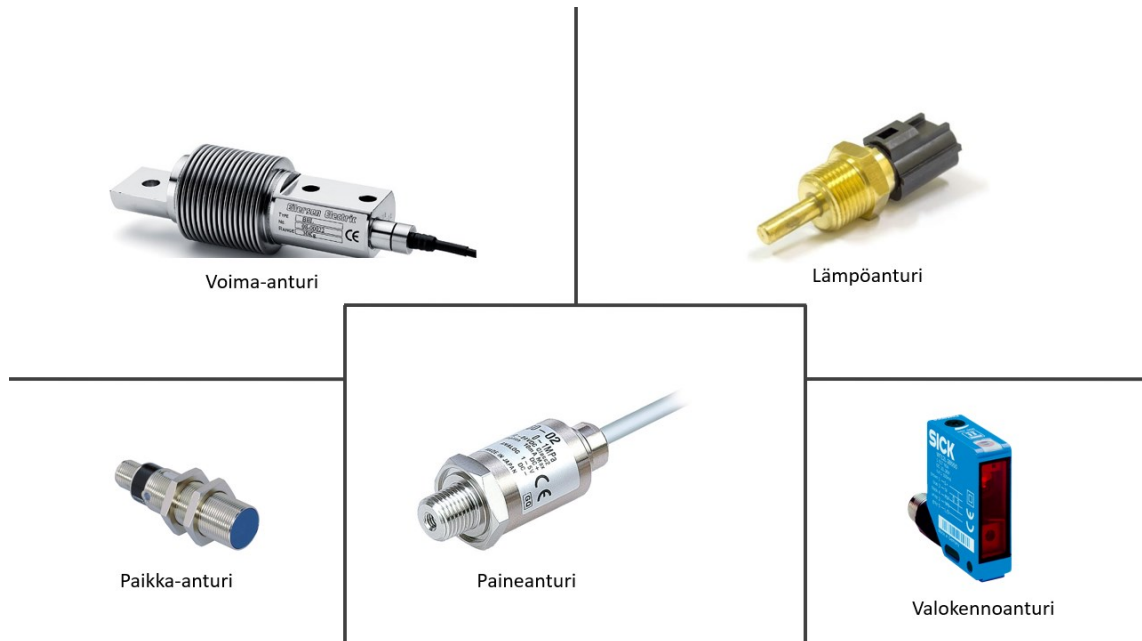


Kuva 3. Paikkoja, missä voidaan hyödyntää automaatiota.

### 4.3 Anturit

Automaatiossa ja robotiikassa voidaan systeemin ohjauksessa käyttää useita erilaisia antureita. Antureilla voidaan mitata kemikaalisia tai fyysisiä suureita ja siirtää tieto anturia hyödyntävälle laitteelle. Anturi koostuu tuntoelimestä, muuntimesta ja lähettimestä. Tuntoelin tunnistaa mitattavan suureen, jonka jälkeen

muunnin muuttaa mitatun arvon oikeaan muotoon ja lähetin siirtää tiedon laitteelle. Antureita voidaan käyttää eri kohteiden suureiden mittaamiseen (kuva 4). Niitä on digitaalisia ja analogisia, ja ne eroavat toisistaan viestintätavaltaan. Koska analogisesta anturista saatu data muutetaan digitaalisen muotoon, voi tämä helpommin vääristyä kuin digitaalisesta anturista saatu digitaalinen data (7).



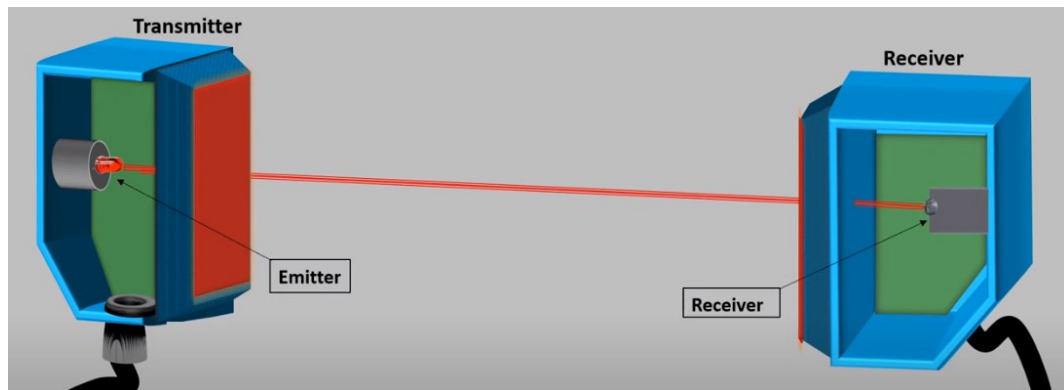
Kuva 4. Erilaisia antureita.

Tehtaissa yksi käytetyimpiä antureita ovat valokennoanturit niiden luotettavuuden ja helpon asennettavuuden takia. Valokennoantureita on erilaisia ja niitä käytetään eri tavoin ja eri tarkoituksiin. Seuraavana on kuvattu valokennoantureiden kolme erilaista käyttö- ja toimintatapaa.

#### 4.3.1 Erillinen lähetin ja vastaanotin -anturi

Anturissa on erillinen lähetin ja vastaanotin (kuva 5). Lähetin lähettää infrapunasäteen vastaanottimeen. Kun esine kulkee infrapunasäteen läpi, säteen kulku vastaanottimelle estyy. Tämän seurauksena anturi tunnistaa esineen ja lähettää

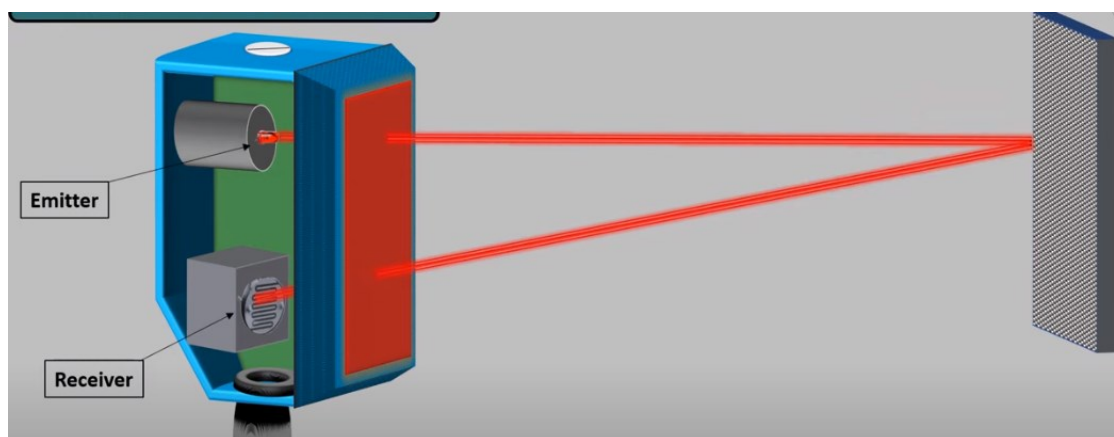
signaalin järjestelmällä. Järjestelmä reagoi siihen määritellyllä tavalla, esimerkiksi pysäyttää linjaston kuljettimen (8).



Kuva 5. Valokennoanturi erillisellä lähettimellä ja vastaanottimella.

#### 4.3.2 Lähetin-vastaanotin-anturi peilillä

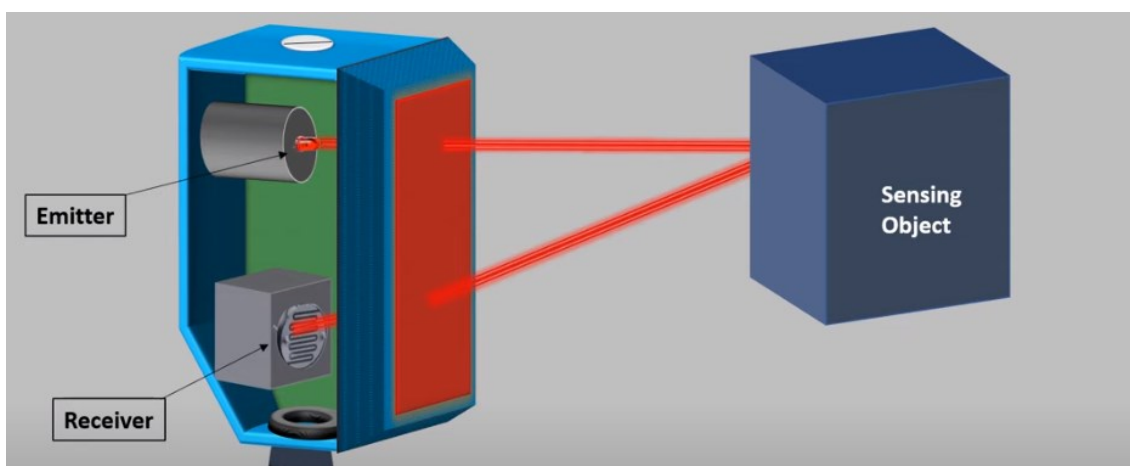
Anturissa lähetin ja vastaanotin on samassa yksikössä. Lähettimen infrapunasäde heijastetaan peilin kautta takaisin anturin vastaanottimeen (kuva 6). Kun esine kulkee infrapunasäteen läpi, säteen takaisin heijastuminen vastaanottimeen estyy, jonka seurauksena anturi lähettää signaalin järjestelmälle (8).



Kuva 6. Lähetin-vastaanotin-anturi peilillä

### 4.3.3 Lähetin-vastaanotin-anturi ja heijastava kappale

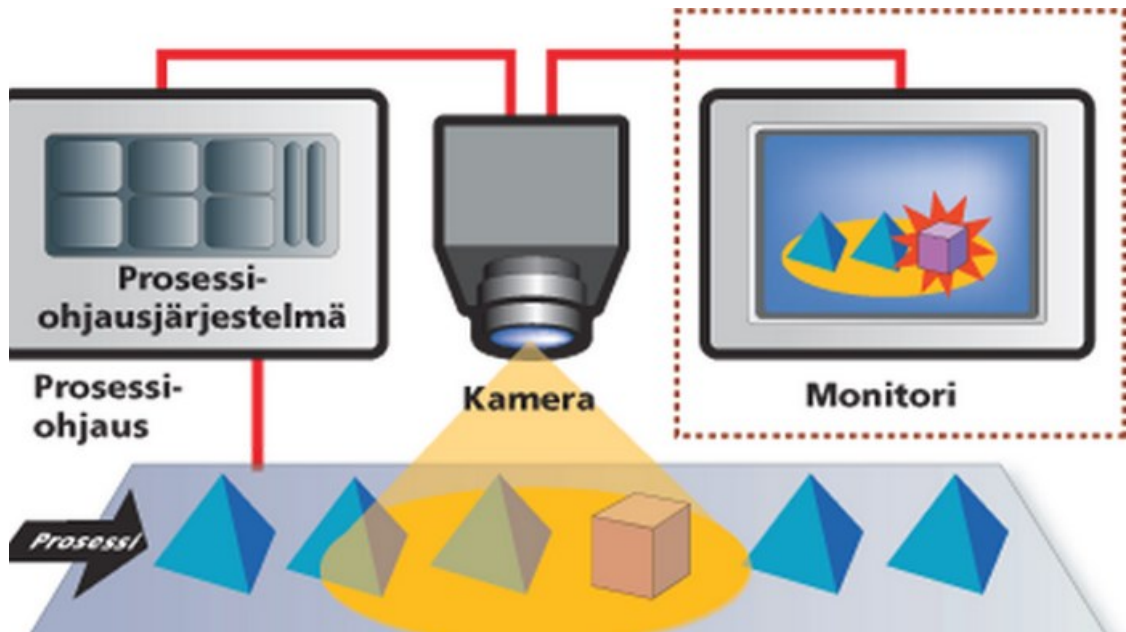
Tässä käytössä anturi on vastaavanlainen kuin kohdassa 4.4.2., mutta infrapunasäde heijastuu takaisin anturin vastaanottimeen valvottavan kappaleen heijastavasta pinnasta (kuva 7). Tämän kaltaista ratkaisua voidaan esimerkiksi käyttää erottelemaan linjastolta erityyppisiä kappaleita. Kappaleiden erottelu perustuu kappaleen pinnan kykyyn heijastaa infrapunasädettä (8).



Kuva 7. Lähetin-vastaanotin-anturi ja heijastava kappale

## 4.4 Konenäkö

Konenäkö on yleistynyt tekniikka tehtaiden automaattioratkaisuissa. Konenäköllä tarkoitetaan kameran ottamaa kuvaa, jonka perusteella tehdään laskelmia ja niitä hyödynnetään automaation ohjaamiseen. Konenäkö on tarkka ja hyvä tunnistamaan pienetkin erot tavaratuotannossa. Sijoittamalla kamera muuttumattomaan ympäristöön ja estämällä ulkopuolelta tulevan hajavalon vaikutukset konenäköä voidaan hyödyntää tuotteen laadun valvonnassa. Esimerkiksi konenäön avulla voidaan tarkistaa laskemalla kuvan pikseleistä, täyttävätkö valmistettavan tuotteen ulkomitat sille asetetut laatukriteerit (kuva 8) (9).



Kuva 8. Konenäön käyttö laadunvalvonnassa

Konenäkö toimii joko koneoppisesti tai sääntöpohjaisesti. Koneoppisessa konenäössä tietokoneohjelmalle näytetään monia kuvia, joiden pohjalta ohjelma oppii ja luo toiminnalleen säännöt ja kriteerit, kuinka toimia. Oppimiseen edellyttää jopa satojen kuvien käsittelyä. Sääntöpohjaisessa konenäössä ohjelmoija luo ohjelmalla säännöt, kuinka konenäön tulee tulkita kuvaa (9).

Konenäköön on käytettävissä toiminnaltaan kahdenlaisia kameroita, konenäkö- ja älykamera (kuva 9). Konenäkökamerassa kamera kuvaa ainoastaan tarkkailtavaa tuotetta tai kohdetta. Tämän jälkeen kuva siirretään tietokoneelle, missä ohjelma laskee ja käsittelee kuvan tietoja, jonka perusteella tehdään johtopäätös jatkotoiminnasta. Jatkotoimi voi olla esimerkiksi laaturvirheestä johtuva tuotteen hylkääminen. Kuvan käsittelyprosessissa esiintyy sekä tiedonsiirrosta johtuvaa että tietokoneen käsittelynopeudesta johtuvaa viivettä.

Älykamerassa kamera ottaa kuvan ja suorittaa sekä laskemisen että tulosten tallentamisen. Älykameran ohjelmointia varten kamera liitetään tietokoneeseen ja ohjelmoija rakentaa ohjelman valmistajan ylläpitämällä graafisella käyttöliittymällä. Älykamerassa ei esiinny tiedonsiirrosta ja tietokoneen käsittelynopeudesta johtuvia viiveitä kuten konenäkökamerassa (9).



Kuva 9. Konenäkökamera vasemmalla ja älykamera oikealla.

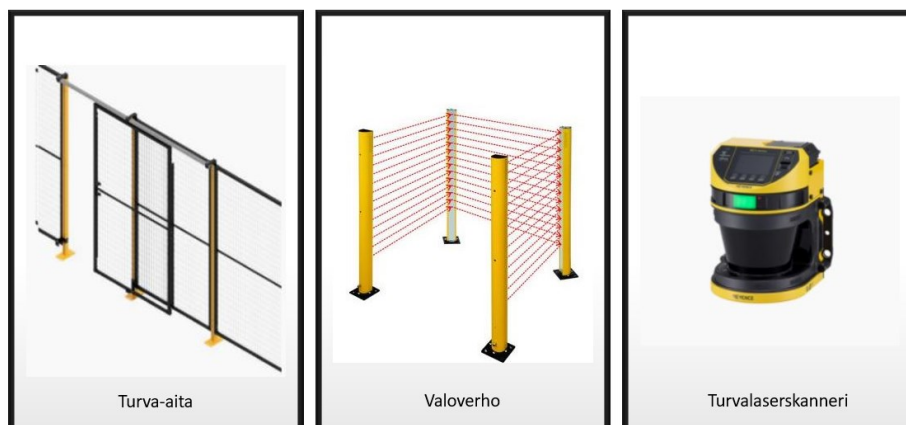
#### 4.5 Turvalaitteet

Erityyppisiä turvalaitteita käytetään automatisoiduissa työympäristöissä ja automaatiolaitteissa ehkäisemään tapaturmia. ”Hätäseis”-painikkeet ovat yleisempiä turvalaitteita, joilla pysäytetään laitteen tai laitteiston toiminta katkaisemalla virran syöttö laitteelle. Lisäksi on paljon erilaisia muitakin turvalaitteita, joilla on mahdollista pysäyttää laitteen tai laitteiston toiminta. Näitä ovat muun muassa köysihätäpysäyttimet, turvalaserskannerit, valoverhot, turvarajakytkimet ja turvamatot.

Kun työympäristössä käytetään robotteja, tulee robotin ympäröivä työalue olla eristetty tai turvalaitteilla valvottu. Mikäli työntekijä siirtyy työalueelle, turvalaitteet tunnistavat työntekijän siirtymisen alueelle, jonka seurauksena robotti pysähtyy. Alueen valvonnassa toimivia vaihtoehtoja ovat turvaloverho, turvalaserskanneri ja fyysinen turva-aita rajakytkimellä (kuva 10).

Turvaloverho toimii samalla periaatteella kuin valokennoanturi. Turvaloverhon lähetin lähettää infrapunavalosäteitä erilliseen vastaanottimeen. Infrapunasäteet muodostavat valoverhon valvottavan alueen rajalle. Jos turvalover-

hon läpi tunkeutuu ihminen tai esine, turvalaite pysäyttää robotin toiminnan. Robotin työalueen ympärille ei tarvitse asentaa fyysistä aitaa, jos käytetään turvalaiverhoa. Koska turvalaserskannerilla pystytään mittaamaan etäisyyksiä, voidaan robotin työalue jakaa eri vaaravyöhykkeisiin ja siten ohjata turvallisuustoimia tämän mukaisesti (10).



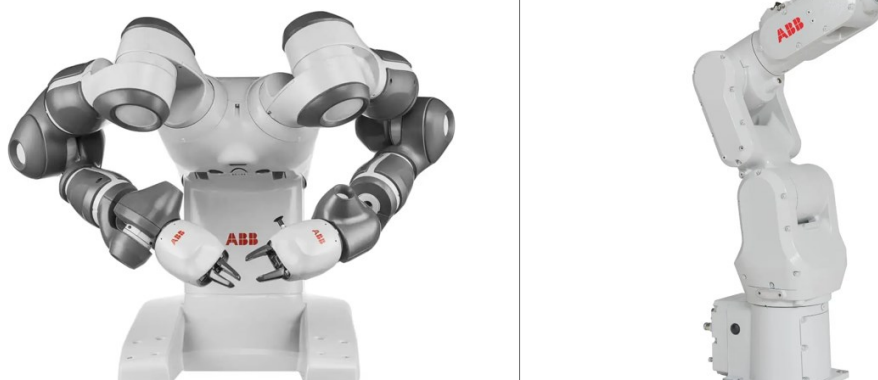
Kuva 10. Robotin työskentelyaluetta turvaavia turvalaitteita

#### 4.6 Robotti ja cobotti

Robotti on automaattinen laite, mikä pystyy suorittamaan monenlaisia sille ohjelmoituja tehtäviä. Robotin toiminnassa hyödynnetään erilaisia antureita ja kokenäköä. Se pystyy suorittamaan erilaisia tehtäviä myös sellaisissa työympäristöissä missä työntekijän on vaikea tai epäterveellistä työskennellä. Robotin avulla voidaan myös vähentää työkuormaa ja parantaa työturvallisuutta.

Robotteja on erilaisia, joko yksi- tai kaksikätsisiä (kuva 11). Robotien koon, nopeuden ja voiman takia niiden työskentelyalueet tulee olla rajattuja vaaratilanteiden estämiseksi. Rajaaminen voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, kuten fyysisillä aidoilla tai turvalaitteilla, jotka pysäyttävät robotin toiminnan, mikäli työalueella tunkeutuu ihminen tai esine (11).





Kuva 11. Kaksikäinen ja yksikäinen robotti.

Cobotti on robotti, joka on suunniteltu tekemään työtä turvallisesti ihmisen kanssa (kuva 12). Cobotissa on herkät anturit, joiden avulla se tunnistaa, mikäli ihminen tai esine osuu sen koneraajaan. Kosketus koneraajaan pysäyttää cobotin toiminnan. Tästä johtuen ihminen pystyy työskentelemään turvallisesti cobotin kanssa.

Cobotit ovat käyttöystävällisempiä kuin teollisuusrobotit ja soveltuvat erityisesti pienteollisuuteen. Toisin kuin robotit, cobotit eivät pysty nostamaan kovin raskaita esineitä eikä ne toimi yhtä nopeasti. Cobotin pienemmät voimat ja hitaampi toimintanopeus verrattuna robottiin, mahdollistaa turvallisen työskenteelyn ihmisen kanssa.



Kuva 12. Cobotti

Roboteille ja coboteille on kehitetty erilaisia työkaluja, joita ne voivat käyttää eri työtehtäviin. Työkalujen avulla robotin ja cobotin tehtäväalueita on pystytty laajentamaan isommasta tai painavammasta työstä pieneen ja tarkkaan työhön. Tarkkaa työtä mahdollistavia työkaluja ovat esimerkiksi erilaiset tarttajat, ruuvauspäät ja nostotyökalut (kuva 13). Tasapintaisen tuotteen tai komponentin nostamisessa voidaan käyttää alipainenostinta.



Kuva 13. Robotin ja cobotin hyödyntämiä työkaluja

## 5 Suunnittelu ja työn eteneminen

Automaatioselvitystä varten perehdyin linjastolla valmistettavien R9-taajuusmuuttajien (ACx580-01 ja ACS880-01) kokoamisohjeisiin. Tämän jälkeen kävin seuraamassa taajuusmuuttajien kokoamista linjastolla ja keskustelin kokoonpanijoiden kanssa laitteiden kokoamiseen liittyvistä vaiheista.

Linjastoon tutustumisen ja kokoonpanijoilta saamani palautteen avulla lähdin toteuttamaan R9-taajuusmuuttajalinjaston automaatisaatioselvitystä. Linjaston automaatisaation kehittämisessä ja selvitystyössä on tärkeää pohtia, missä taajuusmuuttajan kokoamisvaiheessa olisi mahdollista hyödyntää automaatiota. Toteutettaisiinko automaatio robotin tai cobotin avulla? Vaatiko automaatisaatio kokoamisjärjestyksen muutoksia ja onko se mahdollista toteuttaa? Lisäksi on tärkeää arvioida automaatisaation kautta saadut hyödyt ja haitat. Automaation hyödyn arvioinnissa tulee huomioida myös kustannukset, läpimenoaika ja laatuun vaikuttavat tekijät.

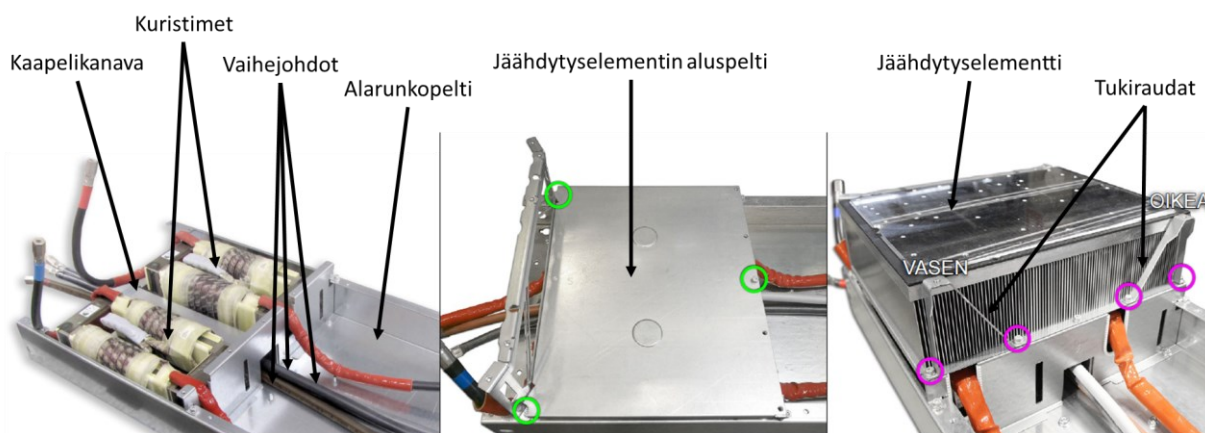
### 5.1 R9-taajuusmuuttajien kokoamisvaiheet

R9-taajuusmuuttajien kokoamisessa on kolme työvaihetta (työvaihe 1,2 ja 3) (liite 1). Kustakin työvaiheesta vastaa yksi kokoonpanija. Työvaiheiden sisällä on erillisiä kokoamisvaiheita, ja niiden määrä vaihtelee eri työvaiheissa. Alla kuvaan kunkin työvaiheen kokoamisvaiheita, joissa olisi mahdollista käyttää automaatioita.

#### 5.1.1 Työvaihe 1

Työvaihe 1 pitää sisällään kymmenen erillistä kokoamisvaihetta. Kaikissa kymmenessä kokoamisvaiheessa saataisi olla mahdollista hyödyntää automaatiota.

Kokoamisvaiheessa 1 alarunkopeltiin asennetaan kuristimet, kaapelikanava ja vaihekaapeli, jonka jälkeen laitetaan jäähdytyslementin aluspelti. Jäähdytyslementin aluspellin päälle laitetaan jäähdytyslementti ja tukiraudat (kuva 14).



Kuva 14. Työvaihe 1, kokoamisvaihe 1

Robotilla olisi mahdollista nostaa alarunkopelti työtasolle ja kiinnittää kaapelikanava alarunkopeltiin.

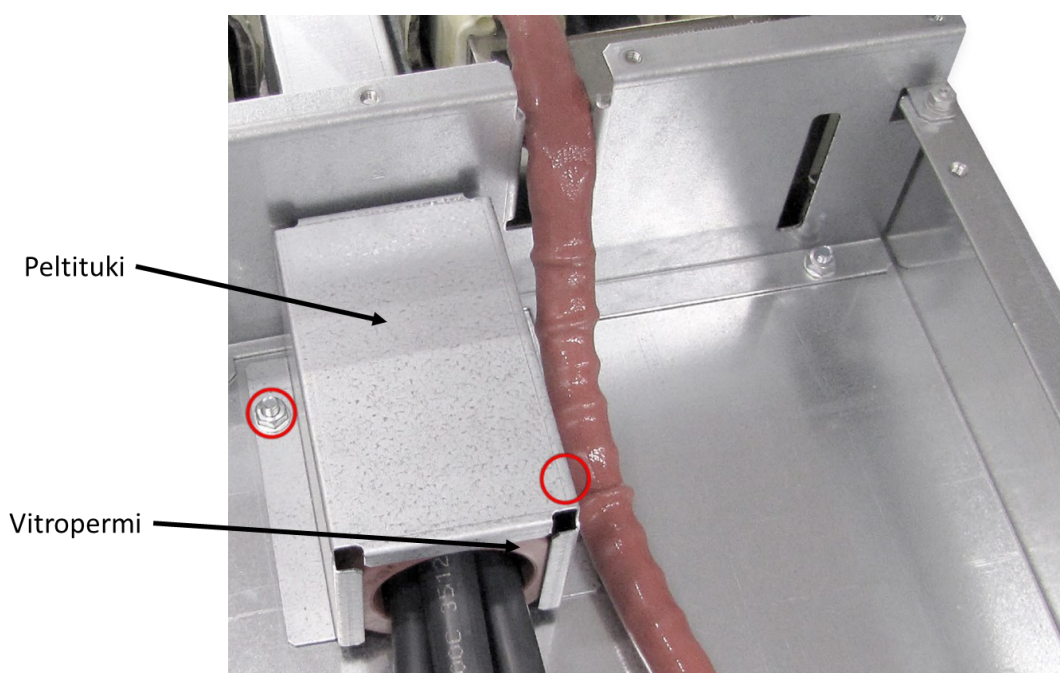
Kuristimien ja vaihekaapelien sekä jäähdytyslementin aluspellin asennus robotin avulla on vaikea toteuttaa. Kuristimien johdot ja vaihekaapelit tulisi saada asetettua tiettyyn niille varattuun paikkaan alarunkopellissä. Roboteilla johtojen paikalleen laitto ja asennus ei tällä hetkellä ole vielä toteutettavissa, koska johdot eivät ole kiinteitä komponentteja vaan taipuisia. Jäähdytyslementin aluspellin asennuksen yhteydessä tulee varmistaa, että kuristimien johdot eivät jää alarunkopellin ja jäähdytyslementin aluspellin väliin puristukseen. Tämä on vaikea varmistaa, jos robotti asentaisi jäähdytyslementin aluspellin.

Jäähdytyslementin paikalleenlaitto aluspellille onnistuu robotilla, kuten myös tukirautojen kiinnitys. Tukirautojen pienen koon ja keveyden takia tulisi robotin olla kaksikäinen. Toinen robotin käsistä pitäisi tukirautaa paikallaan ja toinen kiinnittäisi tukiraudan kiinni jäähdytyslementin aluspeltiin.

Kokoamisvaiheessa 1 cobotti pystyisi toteuttamaan kaikki samat asennukset kuin robotti. Cobottia voisi mahdollisesti hyödyntää myös kuristimien paikalleenlaitossa. Cobotti noutaisi kuristimet alarunkopellin luokse, mutta ei aseta niitä alarunkopeltiin, vaan pitää kuristimia alarunkopellin yläpuolella. Cobotti toimii tässä vaiheessa keventimenä, ja kokoonpanija ohjaisi kuristimet oikeaan kohtaan alarunkopeltiin.

Osaan taajuusmuuttajista asennetaan vitropermit peltituella (kuva 15). Jos robotti tai cobotti asentaisi vitropermit, vitropermien pitäisi olla kiinni peltituessa niin, etteivät ne putoaisi peltituesta asennuksen aikana. Cobottia voitaisiin käyttää, jos kokoonpanija asettaisi peltituelliset vitropermit paikalleen, jonka jälkeen cobotti kiinnittäisi peltituen kiinni alarunkopeltiin.

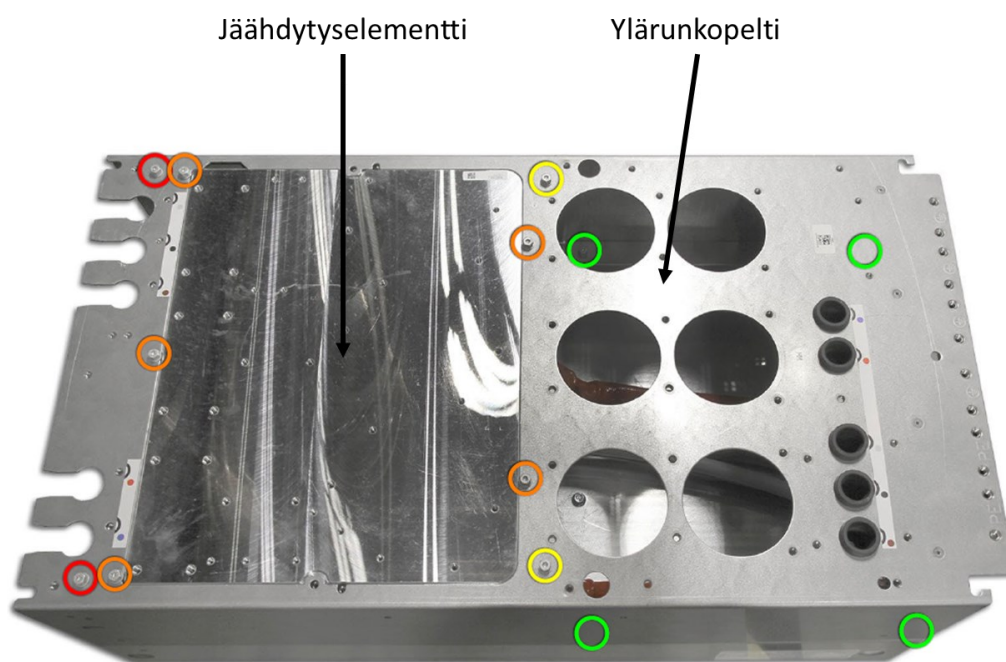
Kokoamisvaiheessa lopuksi laitetaan vaihekaapeli paikalleen, jota ei ole mahdollista toteuttaa robotilla tai cobotilla.



Kuva 15. Kokoamisvaihe 1, vitropermit

Kokoamisvaiheessa 2 alarungon ja jäähdytyslementin päälle asennetaan ylä-runkopelti. Alarungossa olevien kiinnitys-/ohjaustappien tulee asettua kohdal-leen ylärungossa sijaitsevien reikien kanssa. Samalla tulee varmistaa, että jäähdytyslementin tiiviste on kohdallaan (kuva 16).

Robotilla kyseinen kokoamisvaihe on vaikea toteuttaa. Cobotilla tämä vaihe voisi olla toteutettavissa, jos kokoonpanija asettaisi ylärunkopellin oikein paikoil-leen ja cobotti hoitaisi ylärunkopellin kiinnityksen. Osa kiinnitysruuveista sijait-see cobotille haastavissa paikoissa, jotka siksi jäävät kokoonpanijan kiinnitettä-väksi. Cobotin käyttöä voisi kuitenkin hyödyntää siten, että cobotti kiinnittää osan ruuveista ja cobotin työskentelyaikana kokoonpanija keräisi seuraavan vaiheen komponentit.



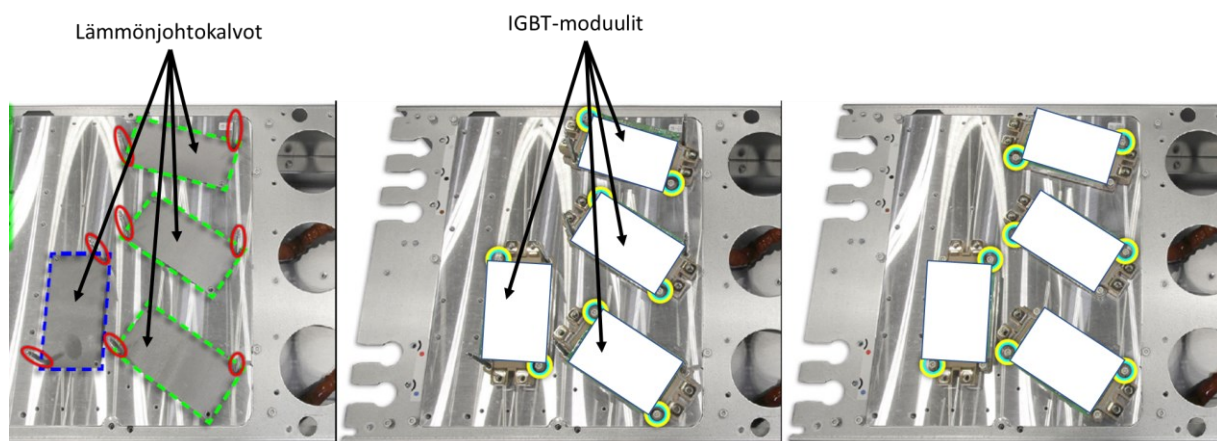
Kuva 16. Työvaihe 1, kokoamisvaihe 2

IGBT-moduulien asennus jäähdytyslementtiin tapahtuu kokoamisvaiheessa 3 (kuva 17). Ennen IGBT-moduulien asennusta jäähdytyslementin päälle asen-

netaan lämmönjohtokalvot ja asennustapit kullekin IGBT-moduulille. Lämmönjohtokalvot ovat ohuita ja helposti rikkoutuvia. Kalvojen asennuksessa robotin tai cobotin käyttö ei ole mahdollista kalvojen rikkoutumisvaaran takia.

IGBT-moduulien paikalleen laittaminen on hankalaa toteuttaa pelkästään robotilla tai cobotilla, koska asennustappien tulee kohdata moduulissa olevat reiät.

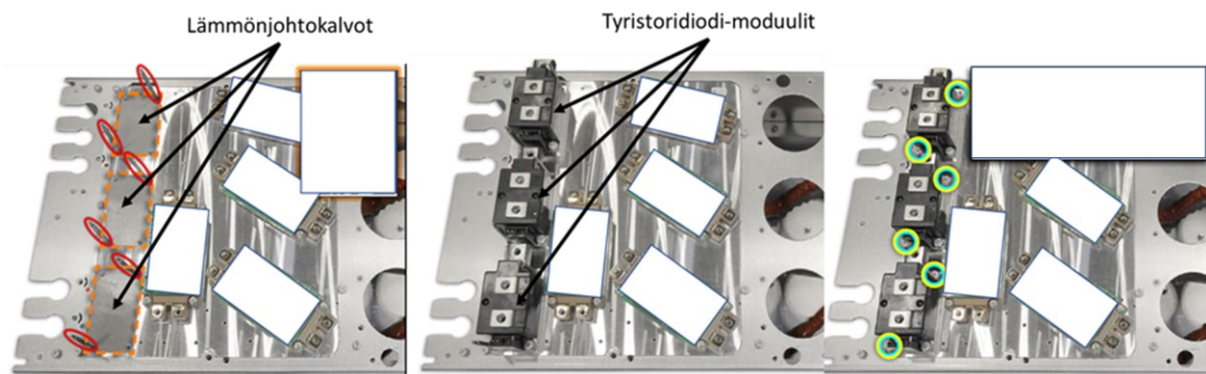
Cobottia voisi käyttää IGBT-moduulien asennuksessa yhdessä kokoonpanijan kanssa. Tällöin kokoonpanija asettaisi lämmönjohtokalvot ja IGBT-moduulit paikoilleen, ja cobotti kiinnittäisi moduulit jäähdytyslementtiin. Kiinnitysvaiheen puolella välissä kokoonpanijan on irrotettava asennustapit, jonka jälkeen cobotti voisi suorittaa kiinnityksen loppuun.



Kuva 17. Työvaihe 1, kokoamisvaihe 3

Kokoamisvaiheessa 5 asennetaan tyristoridiodi-moduuli jäähdytyslementin päälle. Kuten vaiheessa 3 lämmönjohtokalvo tulee asentaa jäähdytyslementin ja tyristoridiodi-moduuli väliin (kuva 18). Moduulin asentamisessa hyödynnetään asennustappeja kuten vaiheen 3 IGBT-moduulien asennuksessa.





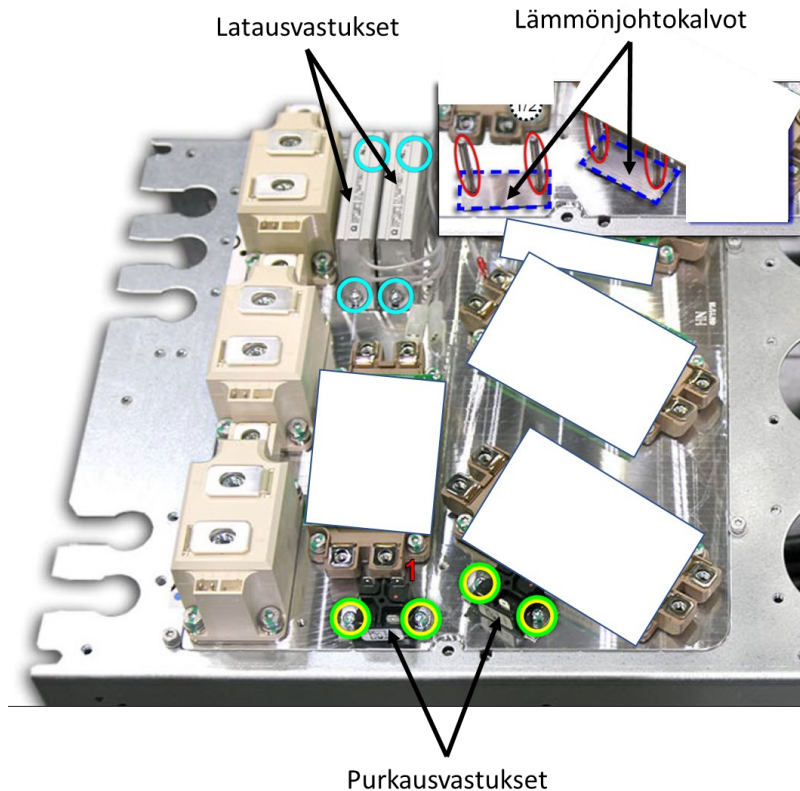
Kuva 18. Työvaihe 1, kokoamisvaihe 5

Purkaus- ja latausvastukset asennetaan jäähdytyslementin päälle kokoamisvaiheessa 7. Purkausvastuksen ja jäähdytyslementin väliin tulee lämmönjohtokalvo. Latausvastuksen asennuksessa ei käytetä lämmönjohtokalvoa (kuva 19).

Purkausvastuksien asennus tapahtuu asennustappien avulla. Purkausvastuksien asennuksessa ei ole mahdollista käyttää robottia eikä cobottia. Myöskään cobotin käyttö yhdessä kokoonpanijan kanssa ei onnistu, koska asennustappeja ja kiinnityspaikkoja ei ole kuin kaksi kussakin purkausvastuksessa. Asennustappi täytyy irrottaa ennen kiinnitystä, jolloin purkausvastaus ei ole riittävästi tuettu jäähdytyslementtiin kiinnityksen ajaksi.

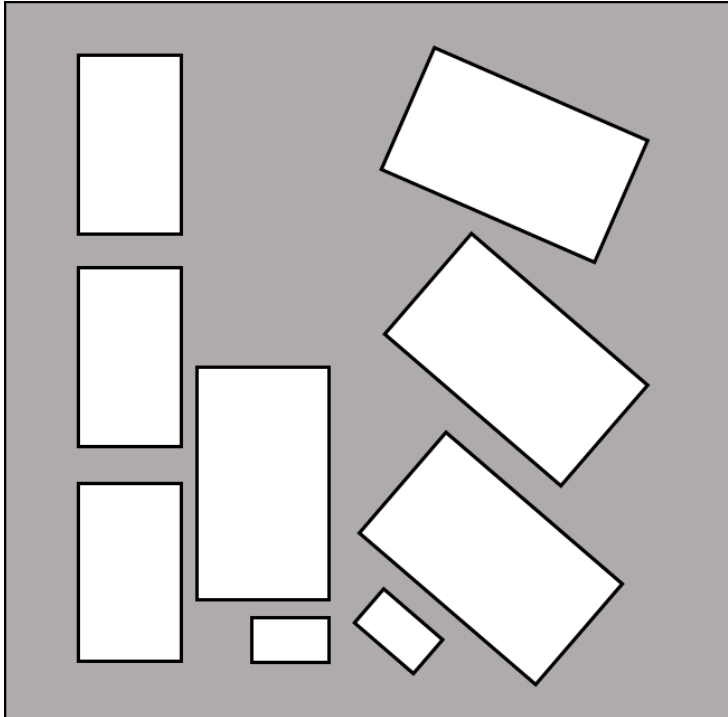
Latausvastuksen johtojen ja niiden ulostulopaikan takia robotin tai cobotin käyttö vastuksen asennuksessa ei ole mahdollista.





Kuva 19. Työvaihe 1, kokoamisvaihe 7

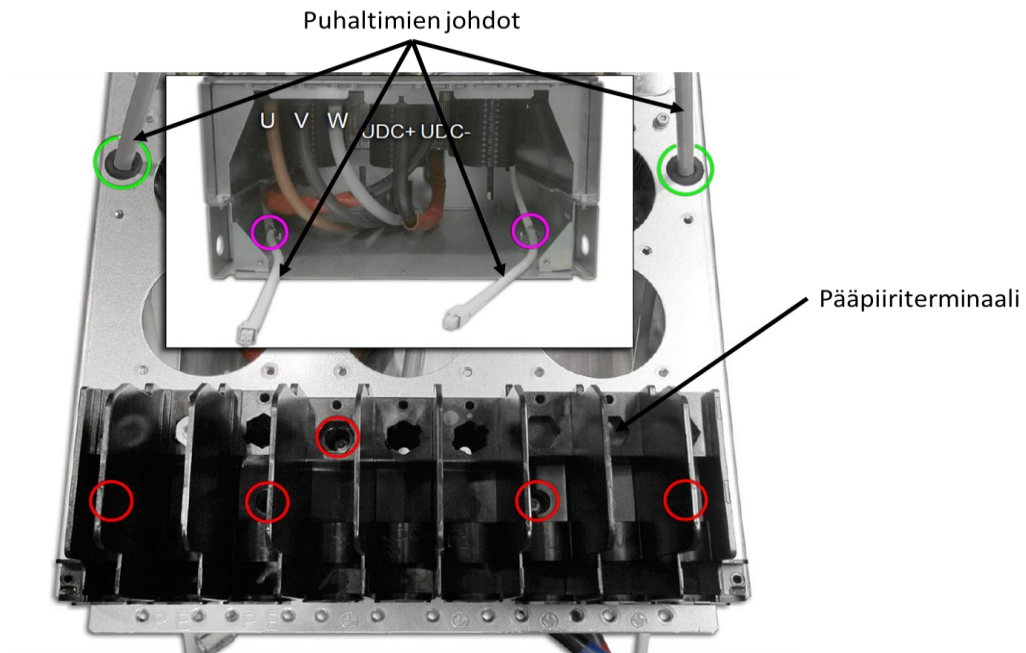
Cobotin laajempi käyttö olisi mahdollista toteuttaa asennuskehikon avulla. Asennuskehikko (kuva 20) korvaisi asennustappien käytön kokoamisvaiheissa 3, 5 ja 7, ja näin kyseiset kokoamisvaiheet voisi samalla yhdistää yhdeksi kokoamisvaiheeksi. Asennuskehikko asennettaisiin jäähdytyslementin päälle ja siinä olisi tyhjät oikeankokoiset paikat oikealla sijainnilla IGBT- ja tyristoriodi-moduuleille ja purkausvastuksille. Kokoontenija asentaisi lämmönjohtokalvot ja komponentit asennuskehikseen omille paikoilleen, ja sen jälkeen cobotti kiinnittäisi komponentit paikalleen jäähdytyslementtiin. Tämän jälkeen kokoontenija irrottaisi asennuskehikon ja kiinnittäisi latausvastukset jäähdytyslementtiin. Kokoontenija voisi cobotin kiinnitysajan tehdä seuraavien vaiheiden esivalmistelutöitä.



Kuva 20. Asennuskehikko

Kokoamisvaiheessa 10 tapahtuu pääpiiriterminaalin asennus (kuva 21). Kyseisessä vaiheessa pääpiiriterminaalin kiinnitys on mahdollista toteuttaa sekä robotilla että cobotilla. Vaihejohtojen läpivientikumien avulla pääpiiriterminaali pysyy paikallaan ja siksi robotin tai cobotin käyttö kiinnityksessä on mahdollista.

Vaiheen lopuksi kuristimien johdot ja vaihejohdot pujotetaan pääpiiriterminaaliin. Johtojen pujottamista ei ole mahdollista automatisoida vaan kokoonpanija pujottaa johdot.

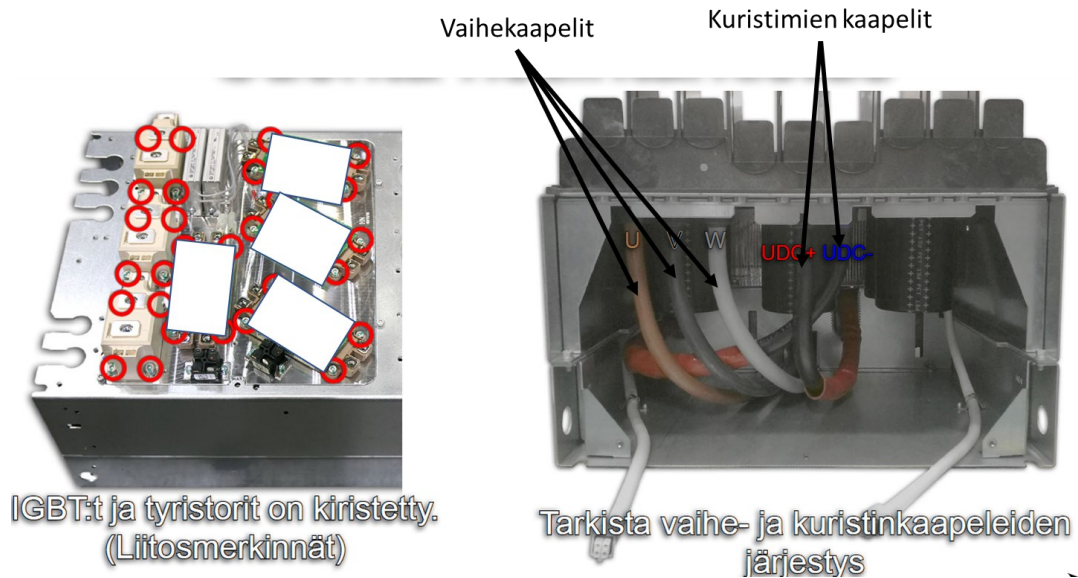


Kuva 21. Työvaihe 1, kokoamisvaihe 10

### 5.1.2 Työvaihe 2

Työvaiheen kaksi alussa on ristiintarkistus (kuva 22). Ristiintarkistuksen tarkoituksena on havaita mahdolliset syntyneet asennusvirheet työvaiheen 1 aikana. Tällä halutaan varmistaa tuotteen hyvä laatu.

Ristiintarkistuksessa voisi olla mahdollista käyttää konenäköä. Konenäöllä voisi tarkistaa, että kaikki kiinnitysruuvit ovat asennettu. Myös kuristimien ja vaihejohdojen oikeilla paikoilla oleminen olisi mahdollista tarkistaa konenäön avulla. Konenäön kuvien laatuun ja tarkkuuteen saattaa vaikuttaa koottavan taajuusmuuttajan pintamateriaalin valoa heijastava pinta.

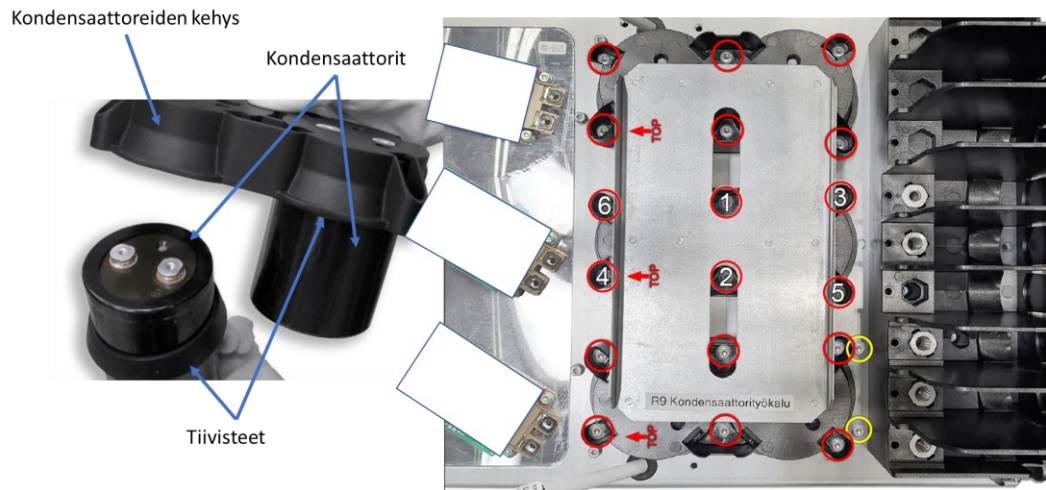


Kuva 22. Työvaiheen 1 ja 2 välinen ristiintarkistus.

Työvaihe 2 koostuu yhdeksästä kokoamisvaiheesta.

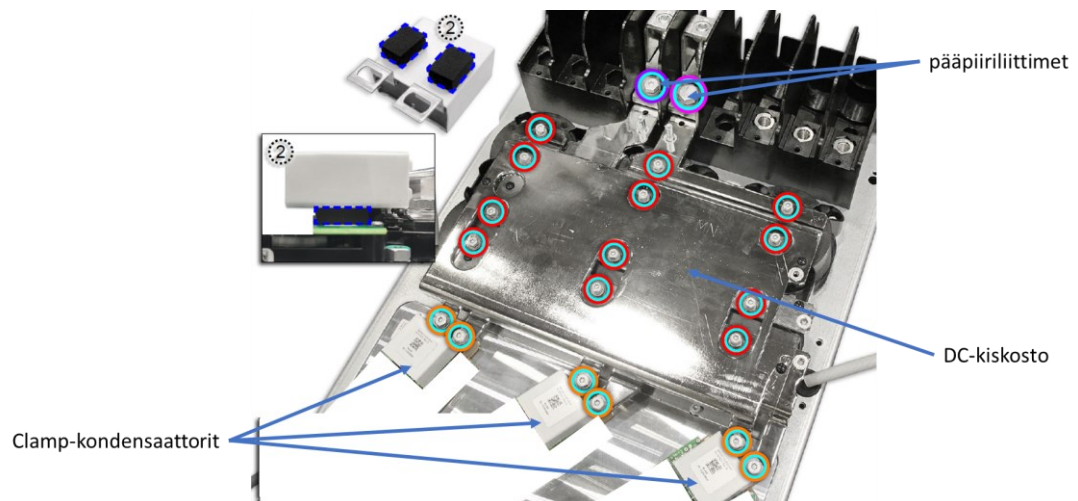
Kokoamisvaiheessa 1 tapahtuu kondensaattoreiden asennus ylärunkopeltiin. Ennen ylärunkopeltiin asennusta kondensaattorien ympärille pujotetaan tiiviste. Tämän jälkeen kondensaattorit kiinnitetään kondensaattorikehykseen pareittain. Kondensaattorit kehyksineen asetetaan ylärunkopeltiin ja kondensaattorien päälle laitetaan kondensaattoriyökalu, joka pitää kondensaattorit paikallaan kiinnityksen ajan (kuva 23).

Tässä kokoamisvaiheessa robottia tai cobottia voi käyttää ainoastaan kiinnitysvaiheessa. Tiivisteiden pujottaminen kondensaattoreihin ja kondensaattoreiden asentaminen kehyksiin vaatii kokoonpanijan työpanoksen. Kondensaattoriyökallussa sijaitsevien tappien tulee asettua kondensaattorien napoihin, joka varmistaa kondensaattorien paikallaan pysymisen kiinnityksen aikana. Tästä syystä pelkästään robotin tai cobotin käyttö tässä kohdin ei ole mahdollista. Cobottia voisi kuitenkin käyttää kondensaattoreiden kiinnityksessä, jos kokoonpanija toteuttaa vaiheet ennen kiinnitystä. Ruuvien kiinnitys tulee toteuttaa keskeltä sivuille järjestyksessä.



Kuva 23. Työvaihe 2, kokoamisvaihe 1

DC-kiskosto kiinnitetään kondensaattoreiden napoihin ja pääpiiriterminaalin kurostimien johtoihin sekä IGBT-moduuleihin Clamp-kondensaattoreiden kanssa kokoamisvaiheessa 2 (kuva 24). Koska DC-kiskon kiinnittämisessä tulee usean eri kohdan asettua tarkkaan tietylle paikalle, joutuu kiskosta asettelemaan manuaalisesti. Robotilla ja cobotilla ei olisi mahdollista toteuttaa DC-kiskoston kiinnittämistä.



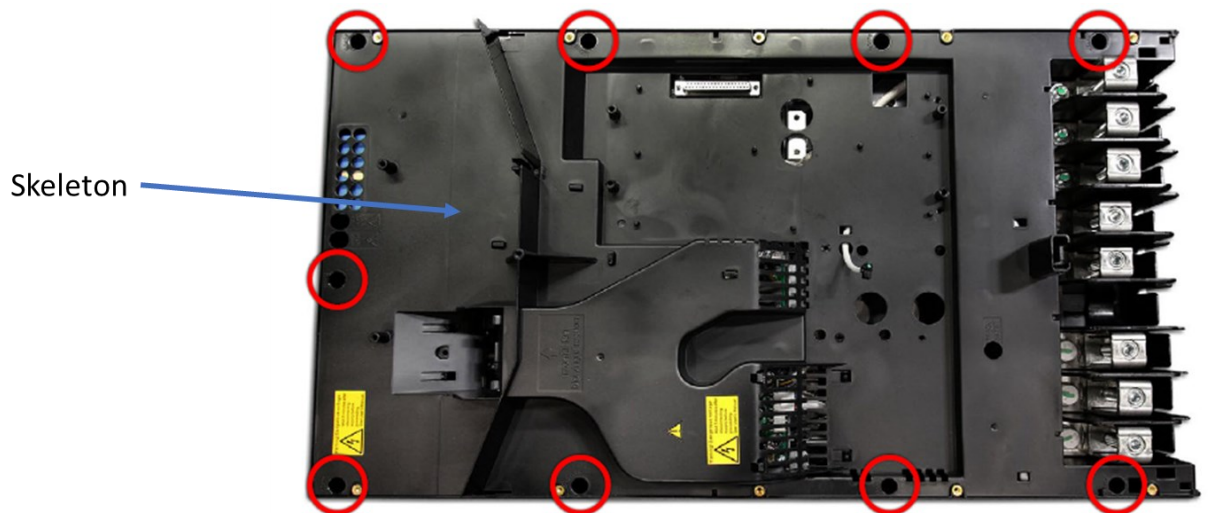
Kuva 24. Työvaihe 2, kokoamisvaihe 2

Työvaiheen 2 lopussa on vaiheita, jotka sisältävät pääosin johtojen kiinnitystä tai pienien ja kevyiden komponenttien asentamista, mitkä ovat robotille ja cobotille hankalia.

### 5.1.3 Työvaihe 3

Työvaihe 3 sisältää paljon pienien osien ja johtojen asennusta, mikä on vaikeaa toteuttaa robotilla tai cobotilla. Työvaihe käsittää kaksi erillistä ristiintarkistusta ja 16 eri kokoamisvaihetta. Ensimmäinen ristiintarkistus on työvaiheen kaksi jälkeen, ennen kolmannen työvaiheen aloittamista. Toinen ristiintarkistus on ennen kokoamisvaihetta 12, jossa asennetaan skeleton.

Kokoonpanijan täytyy asentaa skeleton paikalleen, koska asennuksen yhteydessä tulee varmistaa, ettei skeletonin ja ylärunkopellin väliin jää johtoja puristuksiin. Skeletonin kiinnitys voidaan toteuttaa cobotilla (kuva 25).



Kuva 25. Työvaihe 3, kokoamisvaihe 12



## 6 Vaihtoehtojen pohdinta

### 6.1 Robotti vai cobotti

R9-taajuusmuuttajien kokoamisprosessissa on useita kokoamisvaiheita, joista robotti ei selviäisi yksin ilman kokoonpanijan työpanosta. Kokoamisprosessissa on kuitenkin tunnistettavissa vaiheita, joissa robottia olisi mahdollista käyttää. Kyseiset vaiheet ovat lyhyitä ja hajaantuvat eri työ- ja kokoamisvaiheisiin. Robotilla tehtävät kokoamisvaiheet eivät ole riittävän yhtäjaksoisia vaan kokoonpanija joutuisi poistamaan koottavan laitteen robotin työalueelta tehdäkseen kokoamisvaiheet, joihin robotti ei kykene. Robotilla toteutettavia kokoamisvaiheita ei myöskään ole mahdollista sijoittaa kokoamisprosessissa siten, että ne olisivat riittävän yhtäjaksoisia.

Sen sijaan kokoamisprosessissa on tunnistettavissa useita kokoamisvaiheita, joissa automaation ja ihmisen työpanoksen yhdistämisestä olisi hyötyä. Näissä vaiheissa olisi järkevää käyttää cobotteja.

Kokoonpanija ei voi työskennellä robotin työskentelyalueella robotin työskennellessä. Robotin voima ja nopeus aiheuttavat merkittävää vahinkoa osuessaan ihmiseen tai esineeseen. Tämän takia robotin työympäristö tulee olla joko fyysisesti aidattu tai rajattu käyttäen turvalaitteita, jotka tunnistavat, mikäli ihminen tai esine tulee robotin työalueelle. Koska robotille ei ole mahdollista järjestää yhtäjaksoista työvaihetta, joudutaan kokoonpantavaa tuotetta kuljettamaan edestakaisin robotin työskentelyalueen ja kokoonpanijan työskentelyalueen välillä. Tämä aiheuttaa kokoamisprosessiin tehottomuutta ja turvallisuusriskin.

Cobottien valintaa tukee myös työturvallisuusasiat. Cobotit on suunniteltu työskentelemään yhteistyössä ihmisen kanssa. Sen voima ja nopeus ei ole niin suuri kuin roboteilla, ja sen koneraaja tunnistaa herkästi, mikäli se osuu johonkin kohteeseen. Tällöin cobotin toiminta pysähtyy. Ihminen ja cobotti voivat työskennellä läheisesti samalla työalueella. Cobotin ja ihmisen välistä työnjakoa on myös mahdollista ohjata ohjauspaneelilla, liiketunnistimella tai koneraajassa olevalla tunnisteanturilla.

Cobotin käytön ja automaation kautta saavutettuja hyötyjä sekä näiden toteutuksen vaikeutta on vertailtu eri työ- ja kokoamisvaiheissa (taulukko 1). Työvaiheesta 1, kokoamisvaiheet 2, 3 ja 5 sekä työvaiheen 2, kokoamisvaihe 1 Cobotilla saavutettava hyöty suhteessa toteuttamisen vaikeuteen on hyvä ja näissä vaiheissa cobotin käyttöä kannattaa hyödyntää. Sen sijaan työvaiheesta 1 kokoamisvaiheiden 1, 7 ja 10 osalta cobotin käyttöä tulee harkita.

Taulukko 1. Vertailumatriisi, toteutuksen vaikeus/saavutettava hyöty

		Hyöty →		
		Pieni	keskisuuri	suuri
↑ Vaikeus	suuri	työvaihe 2, kokoamisvaihe 2	ristiintarkistus	työvaihe 1, kokoamisvaihe 1
	keskisuuri	työvaihe 3, kokoamisvaihe 12	työvaihe 1, kokoamisvaihe 7	työvaihe 1, kokoamisvaihe 3 ja 5
	pieni	työvaihe 1, kokoamisvaihe 10	työvaihe 1, kokoamisvaihe 2	työvaihe 2, kokoamisvaihe 1

## 6.2 Cobotin käyttö R9-taajuusmuuttajalinjastossa

Selvitystyön perusteella cobottia voitaisiin hyödyntää seuraavissa työ- ja kokoamisvaiheissa:

- työvaiheen 1 kaikissa kokoamisvaiheissa, paitsi vaiheissa 8 ja 9
- työvaiheen 2 kokoamisvaiheessa 2.

Seuraavana on tarkemmin kuvattuna cobotin ja kokonpanija työnjako kussakin kokoamisvaiheessa.



## 6.2.1 Cobotin käyttö työvaiheessa 1

### Kokoamisvaihe 1

Cobotti asettaa alarunkopellin työalustalle käyttäen tyhjiönostintyökalua. Tämän jälkeen cobotti vaihtaa tyhjiötyökalun tarttujaan. Cobotti hakee kuristimen tarttujatyökalulla ja tuo sen alarunkopellin yläpuolelle. Sen jälkeen cobotti menee passiiviseksi. Tässä vaiheessa cobotti toimii keventimenä. Kokoonpanija ohjaa kuristimen cobotin avulla alarunkopeltiin. Sama toistuu toisen kuristimen asennuksessa.

Cobotin kuristimien noutojen aikana kokoonpanija voi hakea kaapelikanavan ja vaihekaapelit valmiiksi odottamaan työtasolle. Kun kuristimet on asennettu paikoilleen, niin kokoonpanija asettaa kaapelikanavan paikalleen. Tämän jälkeen cobotti kiinnittää kuristimet ja kaapelikanavan alarunkopeltiin.

Kuristimien ja kaapelinkanavan kiinnityksen aikana kokoonpanija noutaa jäähdytyslementin aluspellin. Kokoonpanija asettaa vaihekaapelit ja jäähdytyslementin aluspellin paikoilleen sekä kiinnittää aluspellin alarunkopeltiin.

Tämän jälkeen cobotti noutaa jäähdytyslementin alipainenostimella, ja samanaikaisesti kokoonpanija ottaa tukiraudat valmiiksi esille. Kokoonpanija asettaa jäähdytyslementin aluspelille cobotin avulla. Kokoonpanija kiinnittää tukiraudat jäähdytyslementin aluspeltiin.

Jos laitteeseen asennetaan vitropermit, niin kokoonpanija pujottaa vaihekaapit vitropermeistä läpi ja kiinnittää vitropermit alarunkopeltiin peltituella.

### Kokoamisvaihe 2

Kokoonpanija asettaa ylärunkopellin paikalleen varmistaen, että jäähdytyslementin tiiviste on asettunut hyvin ylärunkopellin ja jäähdytyslementin väliin.

Ylärunkopellin kiinnitys yhdessä kokoonpanijan ja cobotin kanssa. Kokoonpanija kiinnittää alarunkoon kiinnitettävät ruuvit (4 kappaletta). Loput ruuvikiinnitykset tekee cobotti.

#### Kokoamisvaiheet 3–7

Kokoamisvaiheet 3–7 voidaan yhdistää yhdeksi kokoamisvaiheeksi, kun käytetään IGBT- ja tyristoridiodi-moduulien ja purkausvastusten asennuksessa asennuskehikkoa. Asennuskehikko asennetaan väliaikaisesti jäähdytyslementin päälle, jossa se pysyy paikalla hyödyntäen ympärillä olevia käyttämättömiä ruuvireikiä. Asennuskehikossa on tapit käyttämättömien ruuvireikien kohdalla.

Kokoonpanija asettaa lämmönjohtokalvot sekä moduulit ja purkausvastukset paikoilleen. Tämän jälkeen cobotti ruuvaa kunkin komponentin kiinni jäähdytyslementtiin. Asennuskehikon avulla on mahdollista siirtää komponenttien kiinnittäminen kokoonpanijalta cobotille. Asennuskehikko varmistaa komponenttien paikallaan pysymisen kiinnityksen aikana. Kiinnityksen aikana kokoonpanija voi pujottaa tiivisteet kondensaattoreihin.

Kun cobotti on kiinnittänyt komponentit, niin kokoonpanija poistaa asennuskehikon ja kiinnittää latausvastukset jäähdytyslementtiin.

#### Kokoamisvaihe 10

Kokoonpanija asettaa pääpiiriterminaalin ylärunkopeltiin, ja cobotti kiinnittää sen. Sen jälkeen kokoonpanija pujottaa vaihekaapelit pääpiiriterminaalin ja laittaa puhaltimien johdot kiinni ylärunkopeltiin.

### 6.2.2 Cobotin käyttö työvaiheessa 2

#### Kokoamisvaihe 1

Kokoonpanija kiinnittää kondensaattorit kondensaattorikehykseen pareittain ja laittaa kondensaattorit kehyksineen ylärunkopeltiin sekä tukee kondensaattorit

paikalleen kondensaattorityökalun avulla. Cobotti kiinnittää kondensaattorit seuraavassa järjestyksessä: ensimmäisenä keskimmäiset ruuvit ja sen jälkeen loput ruuvit.

Tämän jälkeen kokoonpanija kiinnittää IGBT- ja tyristoridiodi-moduulien johdot ja siirtää koottavan laitteen seuraavalle kokoonpanijalle.

Uudistetussa R9-taajuusmuuttajien kokoamisessa cobottia käytetään työvaiheessa 1 ja työvaiheen 2 alussa. Samalla työvaiheen 2 alun kokoamisvaiheet siirtyvät työvaiheen 2 kokoonpanijalta työvaiheen 1 kokoonpanijalle.

Osa taajuusmuuttajien kokoamiskomponenteista kirjataan SAP-järjestelmään. Kuristimien ja jäähdytuselementin kirjaamisen SAP:iin voisi toteuttaa cobotilla. Cobotti kuljettaisi kuristimet ja jäähdytuselementin SAP-järjestelmän viivakoodilukijan kautta asennuspaikoilleen.

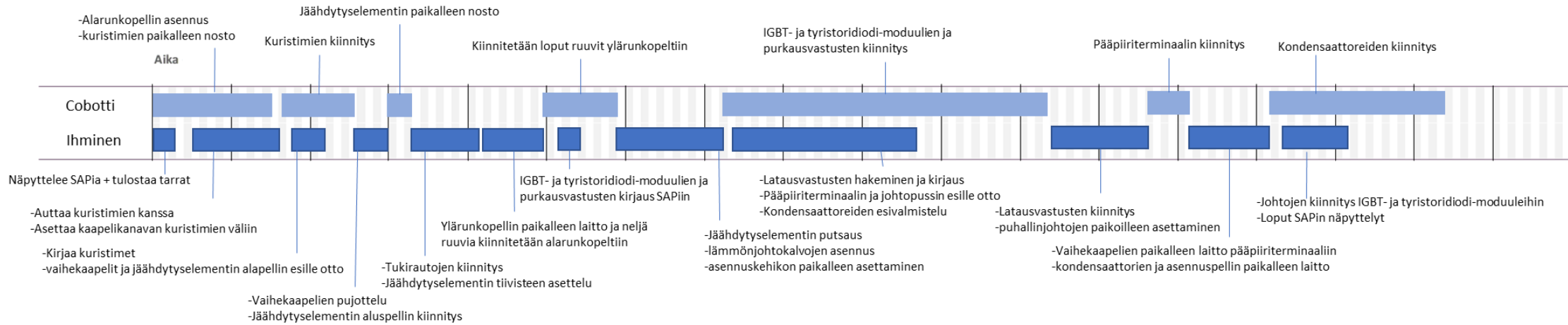
### 6.3 Läpimenoaika

Hyötyjä vertaillessa tulee ottaa huomioon cobotin käyttöönoton vaikutukset tuotteen tuotantoprosessin läpimenoaikaan, eri työ- ja kokoamisvaiheissa sekä kokonaisläpimenoaikaan. Cobotin suoriutuu työtehtävistä ihmistä hitaammin. Taajuusmuuttajan tuotantoprosessissa olen arvioinut, että cobotti suoriutuu 35 % hitaammin työtehtävistä kuin ihminen. Kuvassa 26 vertaillaan cobotin ja ihmisen ajallista suoriutumista työ- ja kokoamisvaiheissa, joissa cobotin käytön on katsottu olevan kannattavaa (taulukko 1).

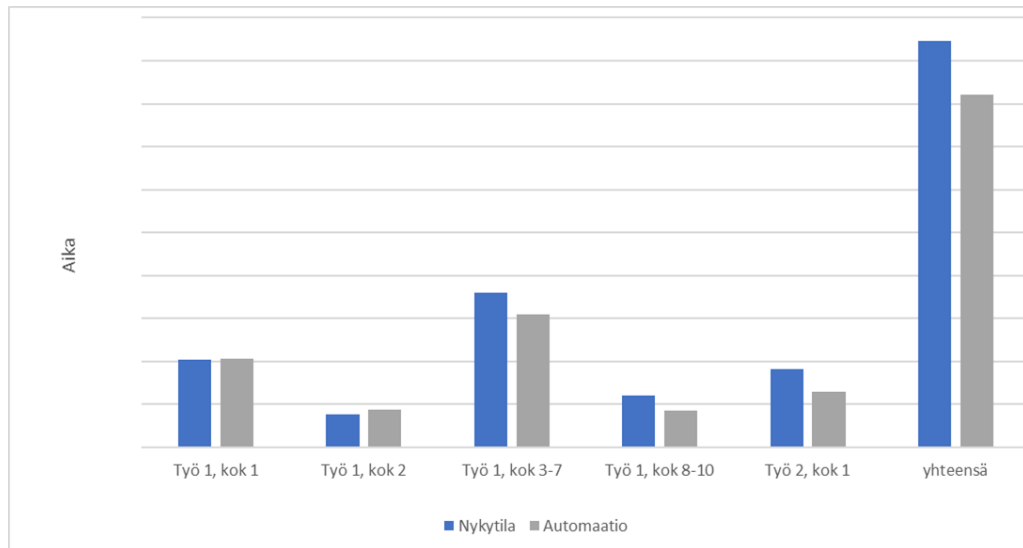
Työvaiheessa 1, kokoamisvaiheissa 3–7, 8–10, ja työvaiheessa 2, kokoamisvaiheessa 1 cobotin käyttö vähensi kokoamisvaiheisiin tarvittavaa aikaa. Työvaiheessa 1, kokoamisvaiheissa 1 ja 2 vastaavaa ajallista hyötyä ei ole havaittavissa. Kuvassa 26 esitettyjen kokoamisvaiheiden yhteisläpimenoajassa cobotin käytöstä on ajallisesti hyötyä, koska cobotin käyttö on mahdollistanut tehtävien rinnakkain tekemisen.

Rinnakkaiset työtehtävät ovat mahdollistuneet seuraavissa työtehtävissä (kuva 26):

- Työvaihe 1, kokoamisvaihe 1.
  - Cobotti nostaa alarunkopellin, kokoonpanija tekee kirjaukset SAP-järjestelmään ja tulostaa tarrat.
  - Cobotti kiinnittää kuristimet alarunkopeltiin, kokoonpanija kirjaa kuristimet ja ottaa esille vaihekaapelit sekä jäähdytyslementin aluspellin.
- Työvaihe 1, kokoamisvaihe 2.
  - Cobotti kiinnittää ylärunkopellin alarunkopeltiin ja jäähdytyslementtiin, kokoonpanija kirjaa SAP-järjestelmään IGBT- ja tyristoridiodi-moduulit sekä purkausvastukset.
- Työvaihe 1, kokoamisvaiheet 3–7.
  - Otetaan uutena asennuskomponentina käyttöön asennuskehikko, joka mahdollistaa cobotin kiinnittää peräkkäin IGBT- ja tyristoridiodi-moduulit sekä purkausvastukset jäähdytyslementtiin. Kokoonpanija kirjaa latausvastukset SAP-järjestelmään, ottaa esille pääpiiriterminaalin ja johtopussin sekä esivalmistelee kondensattorit kehyksiin.
- Työvaihe 2, kokoamisvaihe 1.
  - Cobotti kiinnittää kondensattorit ylärunkopeltiin, kokoonpanija kiinnittää johdot IGBT- ja tyristoridiodi-moduuleihin sekä tekee lopukirjaukset SAP-järjestelmään.



Kuva 26. Ihmisen ja cobotin työtehtävien päällekkäisyydet R9-taajuusmuuttajan kokoamisprosessissa



Kuva 27. Cobotin ja ihmisen käyttämä aika eri työ- ja kokoamisvaiheissa

#### 6.4 Cobotin kokoonpano

Tällä hetkellä saatavat cobotit ja niiden lisävarusteet eivät mahdollista kaikkien selvitystyössä kuvattujen käyttömahdollisuuksien samanaikaista käyttöä. Jäähdytyslementin nostamiseen tarvittavaa tyhjiönostinta voidaan tällä hetkellä hyödyntää ainoastaan Universal Robots UR-10e cobotissa. Tyhjiönostin lisää cobotin nostovoimaa. Tyhjiönostinta ei voi kuitenkaan käyttää kuristimen nostoon, koska siinä ei ole riittävää tartuntapintaa. Kuristin tulisi nostaa tarttujalla ja tähän ei cobotin nostovoima riitä (taulukko 2, vaihtoehto 1).

Mikäli luovutaan jäähdytyslementin nostamisesta cobotin avulla, voimme ottaa käyttöön Universal Robotics UR-16 cobotin. UR-16 cobotilla riittää voima nostaa kuristin tarttujalla, mutta kyseiseen malliin ei ole tällä hetkellä saatavissa tyhjiönostinta jäähdytyslementin nostamiseen (taulukko 2, vaihtoehto 2).

Koska molemmat cobotit ovat saman valmistajan tuotteita, on mahdollista, että tulevaisuudessa valmistaja tarjoaa tyhjiönostimen myös Universal Robotics UR-

16 cobotille. Tämä mahdollistaisi jäähtyसेlementin ja kuristimen noston samalla cobotilla sekä cobotin käytön kaikissa selvityksessä kuvatuissa kokoamisvaiheissa.

Taulukko 2. Cobottien kokoonpanovaihtoehdot

	Vaihtoehto 1	Vaihtoehto 2
Universal Robots UR-10e	x	
Universal Robots UR16		x
Cobotin alipainenostin	x	
Tarttuja		x
Quick tool changer	x	x
Ruuvinväännin	x	x
M6 ruuvien syötin	x	x
M5x12 ruuvien syötin	x	x
M5x16 ruuvien syötin	x	x
M5x20 ruuvien syötin	x	x
M6x20 ruuvien syötin	x	x
M6x25 ruuvien syötin	x	x
M4x16 ruuvien syötin	x	x

## 7 Yhteenveto

Selvitystyön perusteella R9-taajuusmuuttajan kokoamisprosessi kannattaa automatisoida cobottia hyödyntäen. Cobotilla saavutetaan ajallista hyötyä, erityisesti työvaiheen 1 kokoamisvaiheissa.

Mikäli ennen cobotin investointipäätöstä pystytään varmistamaan, että UR-16 on saatavissa tai lähitulevaisuudessa saatavilla alipainenostin, on automaatio järkevää toteuttaa UR-16 cobotilla. Tämä mahdollistaisi toteuttaa kaikki selvityksessä kuvatut cobotin käyttömahdollisuudet. Muutoin automaatio on järkevä toteuttaa UR-10e cobotilla, mihin on jo alipainenostin käytössä ja joka mahdollistaisi painavan jäähdytys-elementin noston. Painavan jäähdytys-elementin nostamisella cobotin avulla pystytään parantamaan kokoonpanijoiden työskentelyympäristöä.

Cobotti tekee kaikki työvaiheensa tasalaatuisesti, joka vähentää näiden työvaiheiden laatupoikkeamia.

Cobotin ja asennuskehikon käyttöönoton avulla pystytään tehostamaan R9-taajuusmuuttajan kokoamisprosessia.



## Lähteet

- 1 2022. ABB:stä lyhyesti. Verkkoaineisto. ABB Oy. <<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti>> Luettu 1.5.2022.
- 2 2022. The new ABB. Verkkoaineisto. ABB Oy. <[https://new.abb.com/about/our-businesses?\\_gl=1\\*1fkowpv\\*\\_ga\\*OD-cwMDAxMzMUMTU4NjUxMzg4Ng..\\*\\_ga\\_46ZFBRSZNM\\*MTY0NTUyNT-gwNS4xLjEuMTY0NTU-yNzE5NS4w&\\_ga=2.222086876.590731184.1645525805-87000133.1586513886](https://new.abb.com/about/our-businesses?_gl=1*1fkowpv*_ga*OD-cwMDAxMzMUMTU4NjUxMzg4Ng..*_ga_46ZFBRSZNM*MTY0NTUyNT-gwNS4xLjEuMTY0NTU-yNzE5NS4w&_ga=2.222086876.590731184.1645525805-87000133.1586513886)> Luettu 1.5.2022.
- 3 2022. ABB Suomessa. Verkkoaineisto. ABB Oy. <<https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>>. Luettu 1.5.2022.
- 4 Mikä on taajuusmuuttaja? Verkkoaineisto. Danfoss. <<https://www.danfoss.com/fi-fi/about-danfoss/our-businesses/drives/what-is-a-variable-frequency-drive/>> Luettu 1.5.2022.
- 5 2022. Rakennustyöt käynnistyneet: 45 robottia sisältävä ruoan verkkokaupan keräilyjärjestelmä K-Citymarket Ruoholahteen. Artikkel. Kesko. <<https://www.kesko.fi/media/uutiset-ja-tiedotteet/uutiset/2021/rakennustyot-kaynnistyneet-45-robottia-sisaltava-ruoan-verkkokaupan-keraysjarjestelma-k-citymarket-ruoholahteen/>> Luettu 1.5.2022.
- 6 2022. Automaatioito verkkokaupan keräilykeskus alkaa nousta K-Citymarket Ruoholahdessa. Artikkel. Kesko. <<https://www.kesko.fi/media/uutiset-ja-tiedotteet/uutiset/2022/automatisoitu-verkkokaupan-kerailykeskus-alkaa-nousta-k-citymarket-ruoholahdessa/>> Luettu 1.5.2022.
- 7 Huhtanen, Tomi. 2019. Anturitekniikan harjoitustyö. Opinnäytetyö. <[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/166328/Huhtanen\\_Tomi.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/166328/Huhtanen_Tomi.pdf?sequence=2&isAllowed=y)> Luettu 1.5.2022.
- 8 2021. Photoelectric sensor working.optical proximity sensor type. photomicro sensor. Photoeye. Instrumentation Academy. video. <<https://www.youtube.com/watch?v=Rf2ymqBDvF8>> Katsottu 1.5.2022.
- 9 Hirvonen, Juha. 2021. Konenäköjärjestelmät ja -menetelmät tutuksi. Opi-materiaali. SeAMK. <<https://lehti.seamk.fi/alykkaat-ja-energiatehokkaat-jarjestelmat/konenakojarjestelmat-ja-menetelmat-tutuksi/>> Luettu 1.5.2022.

- 10 Kujala, Joni. 2020. Anturitekniikan harjoituspisteen suunnittelu ja toteutus. Opinnäytetyö. <[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/339865/Kujala\\_Joni.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/339865/Kujala_Joni.pdf?sequence=2&isAllowed=y)> Luettu 1.5.2022.
- 11 2022. What are industrial robots? Verkkoaineisto. STEM Labs. <<https://education.vex.com/stemlabs/workcell/stemlab/industrial-robotics/what-are-industrial-robots>> Luettu 1.5.2022.