



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Miira Niemi

Pienautomaatiolaitteen suunnittelu muoviteollisuudessa käytettävään robottisoluun

Opinnäytetyö

Kevät 2024

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Miira Niemi

Työn nimi: Pienautomaatiolaitteen suunnittelu muoviteollisuudessa käytettävään robottisoluun

Ohjaaja: Juha Yli-Hemminki

Vuosi: 2024

Sivumäärä: 49

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella pienautomaatiolaitte MSK Plast Oy:n ruiskuvalutehtaalle. Suunniteltua laitetta käytettäisiin tiettyjen ruiskuvalettujen osien valmistusprosessien automatisointiin, mikä parantaisi näiden osien tuotannon tehokkuutta ja alentaisi valmistuskustannuksia.

Suunnittelutyö aloitettiin hankkimalla tietoa eri lähteistä. Laitteen potentiaalisista sijoituskohteista otettiin mittoja ja havainnollistavia kuvia, joiden avulla laitteesta luotiin alustava luonnos käyttäen 3D-mallinnusohjelmaa. Laitteen runko mallinnettiin alumiiniprofiileista ja tähän lisättiin laitteen tärkeimmät komponentit, kuten pneumaattiset sylinterit sekä kuljetinhihna. 3D-mallia apuna käyttäen pystyttiin simuloimaan sylintereiden liikettä, mikä auttoi havainnollistamaan laitteen toimintaa sekä tarkentamaan sen lopullisia mittoja.

Opinnäytetyön lopputuloksena laadittiin lista tärkeimmistä tarvittavista komponenteista sekä 3D-malli laitteesta, jota voidaan hyödyntää myöhemmin laitteen kokoamisessa. Yleisesti ottaen projektille ja opinnäytetyölle asetetut tavoitteet saavutettiin, mutta laitteiston dokumentaatio sekä käyttöohjeet olisivat viimeistelleet suunnitelman. Nämä laaditaan tämän opinnäytetyön jälkeen.

¹ Asiasanat: automaatiojärjestelmät, kenttäväylät, muoviteollisuus, PLC, teollisuusrobotit

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Automation Engineering

Specialisation: Electric Automation

Author: Miira Niemi

Title of thesis: Designing a small automation machine for a robotic cell used in the plastics industry

Supervisor: Juha Yli-Hemminki

Year: 2024

Number of pages: 49

The aim of the thesis was to design a small automation machine for the injection molding factory of MSK Plast Oy. The designed machine would be used to automate the manufacturing processes of certain injection molded parts. This would improve the production efficiency of these parts and decrease manufacturing costs.

The design project was started by gathering information from various sources. Measurements and photos were also taken of different injection molding machines and the areas surrounding them. Using these measurements and photos, an initial draft of the machine was created with a 3D modeling software. The frame of the machine was modeled from aluminum extrusion profiles, and the primary components were attached to the frame, including pneumatic cylinders and a conveyor belt. The model was used to simulate the motion of these cylinders, which further aided in determining the final dimensions of the machine.

As the result there was a 3D model of the machine, and it will serve as a basis for the assembly of the final product, along with a list of the required primary components. The goals set for the project were mostly achieved. However, hardware documentation and a detailed user manual would have completed the design. These will be compiled in the future.

¹ Keywords: automation systems, fieldbus, industrial robots, plastics industry, PLC

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	8
1 JOHDANTO	9
1.1 Työn tausta	10
1.2 Työn tavoitteet.....	12
1.3 Työn rakenne	13
2 NYKYTILANNE	14
2.1 Työn kulku.....	14
2.2 Tehtaassa käytössä olevat robotit.....	15
3 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT	17
3.1 Kenttälaitteet	17
3.1.1 Mittalaitteet.....	18
3.1.2 Toimilaitteet.....	20
3.2 Kenttäväylät.....	21
3.2.1 Profibus.....	22
3.2.2 ASi	23
3.2.3 HART	24
3.3 Ohjelmoitavat logiikat	25
3.4 Teollisuusrobotit	27
3.4.1 Kiertyväniveliset robotit	28
3.4.2 Delta-robotit	29
3.4.3 Lineaarirobotit	29
3.4.4 Sylinterirobotit	29
3.4.5 SCARA-robotit	30
3.4.6 Polaarirobotit.....	30

3.4.7	Yhteistoimintarobotit	30
3.5	Automaatiolaitteen suunnittelu	31
3.5.1	Turvallisuus.....	31
3.5.2	Suunnitteluprosessin kulku	32
4	TYÖN TOTEUTUS	34
4.1	Luonnostelu.....	35
4.2	Komponenttien valinta.....	36
4.3	PLC:n ohjelmointi	40
4.4	Suunnittelun laitteen toiminta ja 3D-malli.....	41
5	YHTEENVETO JA POHDINTA.....	47
	LÄHTEET	48

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. MSK Plast Oy:n tehdas Ylihärmässä (MSK Plast Oy, 2023).	11
Kuva 2. Laitteen avulla valmistettava muovituote kuvassa oikealla.	13
Kuva 3. Muoviosia laatikossa.....	16
Kuva 4. Ruiskuvalukone, jolle automaatiolaite suunniteltiin.	35
Kuva 5. Kuljetinhihna laitteelle.	36
Kuva 6. EMGQM32-50.....	37
Kuva 7. MXS12-30.....	37
Kuva 8. Omron Sysmac CQM1 PLC.....	38
Kuva 9. Omron S82K-05024 -virtalähde.	38
Kuva 10. Kuljettimen taajuusmuuttaja, Omron Sysdrive 3G3JV.	39
Kuva 11. Kuva muotista, jonne kappale viedään.	42
Kuvio 1. Binäärisignaali (perustuu Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 206)	19
Kuvio 2. Analoginen signaali (perustuu Keinänen ja Sumujärvi, 2019, s. 206)	19
Kuvio 3. Automaatiojärjestelmän tiedonsiirtoväylät (perustuu Fonselius ym., 1999, s. 16) ..	22
Kuvio 4. Digitaalinen ja analoginen signaali HART-protokollassa (perustuu FieldComm Group, i.a.).....	25
Kuvio 5. Ohjelmoitavan logiikan perusrakenne (perustuu Suomen Automaatioseura, 2005, s. 12).....	26
Kuvio 6. Automaatiolaitteen suunnitteluprosessin vaiheet (perustuu Fonselius ym., 1999, s. 17–18).....	33

Kuvio 7. Alustava 3D-malli laitteesta.....	36
Kuvio 8. Omron CX-Programmer.....	40
Kuvio 9. Ohjelman osiot.....	41
Kuvio 10. Suunniteltu automaatiolaite.....	43
Kuvio 11. Automaatiolaite ja paletteja.....	44
Kuvio 12. Automaatiolaite robottisolun kanssa.....	45
Kuvio 13. Sylinterien toimintaperiaate.....	46
Taulukko 1. Lista komponenteista.....	39

Käytetyt termit ja lyhenteet

AC	AC, alternating current, vaihtovirta.
DC	DC, direct current, tasavirta.
I/O	I/O, input/output, tulo ja lähtö. Laitteelle tulevat, ja sieltä lähtevät sähköiset analogiset tai digitaaliset signaalit.
Insertti	Valmistettavaan muovituotteeseen lisättävä, yleensä metallinen osa, esimerkiksi mutteri, joka voidaan asentaa valmiiseen tuotteeseen jälkeenpäin, tai joka voidaan viedä tuotteen valmistuksessa käytettävään muottiin, jolloin muovi puristetaan insertin ympärille.
Paletti	Levy, johon työstettäviä tuotteita voidaan asetella helposti jatkokäsittelyä varten.
PLC	PLC on lyhenne sanoista programmable logic controller, eli suomeksi ohjelmoitava logiikka. Ohjelmoitavat logiikat ovat itsenäisiä laitteita, jotka käsittelevät niille tulevia signaaleja sekä tietoa ohjatakseen toimilaitteita. Niitä käytetään usein osana erinäisiä automaatiojärjestelmiä.
Robottisolu	Tila, jossa robotti työskentelee. Alue on usein turvallisuussyistä aidattu, sillä robotin liikkeet voivat aiheuttaa vaaratilanteita robotin parissa työskenteleville ihmisille.

1 JOHDANTO

Nykyään teollisessa tuotannossa automaatio- ja tietojärjestelmien käyttö on keskeisessä asemassa (Suomen Automaatioseura, 2005, s. 7). Tuotannosta saadaan tehokkaampaa automaattisten prosessien avulla verrattuna ihmisen käyttämiseen samassa työtehtävässä. Laitteet ja automatisointi myös mahdollistavat sellaisen työn, mitä ihmisen ei olisi edes mahdollista suorittaa.

Keinäsen ja Sumujärven mukaan (2019, s. 11) on kuitenkin oltu huolissaan, vähentääkö automaation lisääminen teollisuudessa ihmisten työpaikkoja. Teollisuuden tuotantopuolelta vapautunutta työvoimaa on toisaalta voitu siirtää toimistotyön puolelle, jossa palkkaus on yleensä paremmalla tasolla. Keinäsen ja Sumujärven mielestä onkin ollut mielenkiintoista huomata, että teollistuneissa maissa on nykyään vaikeampaa löytää matalapalkkaiseen tehdastyöhön tekijää, joten palkat ovat nousseet kysynnän ja tarjonnan mukaan.

Positiivista on ainakin se, että työturvallisuutta pystytään parantamaan automatisaatiolla, kun ihmisille raskaita ja vaarallisia työtehtäviä voidaan toteuttaa koneilla ja roboteilla. Sundqvistin (2008, s. 11) mukaan automaatio on joskus jopa ainoa tapa parantaa työturvallisuutta. Automatisointi parantaa vaarallisten toimintojen ja prosessien hallintaa erityisesti tarkemman ohjauksen, valvonnan sekä kehittyneen diagnostiikan ansiosta.

Melkein mitä tahansa voi automatisoida, jos on tarpeeksi resursseja käytössä. Tarve automaatiolle lähtee siitä, että on olemassa prosessi, joka voitaisiin automatisoida (Fonselius ym., 1999, s. 16). Sen jälkeen määritellään käyttäjäliittymät ja toimintavaatimukset. Yksinkertaisin mahdollinen toteutus on aina selkein ja helpoin. On kuitenkin huomattava, että jos laitteelle asetetaan paljon erilaisia vaatimuksia, esimerkiksi käyttöturvallisuutta ja laitteen toiminnan turvaavia toimia, toteutus monimutkaistuu.

Muovituotanto on nykyään pitkälti automatisoitua. Muoviosien valmistuksessa on runsaasti muuttujia, kuten vaaditut lämpötilat, raaka-aineen suhteellinen kosteus, ja puristuspaine, joita voidaan säädellä tehokkaasti automaation avulla. Tuotantotehokkuutta halutaan luonnollisesti parantaa jatkuvasti, ja erilaiset tuotteet vaativat joskus hyvinkin yksilöityjä automaatoratkaisuja. Tämä johti myös opinnäytetyön aiheeseen: suunnitella MSK Plast Oy:lle

ruiskuvaluprosessia tukeva pienautomaatiolaite, joka parantaisi tuotantonopeutta ja näin ollen päästäisi työntekijät keskittymään heille mielekkäämpiin työtehtäviin.

1.1 Työn tausta

MSK Plast Oy on Etelä-Pohjanmaalla toimivan MSK Group -konsernin tytäryritys, joka on erikoistunut teollisuuden tarpeisiin räätälöityjen muoviosien valmistukseen (Järvinen, 2017, s. 178). MSK Plast Oy juontaa juurensa aina 50-luvulle, jolloin perustettiin Maaseudun Kone Oy. 1970-luvun lopulla Maaseudun Kone Oy osti maatalouskoneita tuottavan Junkkari Oy:n, joka taas muutamaa vuotta myöhemmin osti muovitehtaan Helsingistä. Ostonsurauksena syntyi Junkkari Muovi Oy, Junkkari Oy:n muovituotantoon keskittyvä tytäryhtiö. 1990-luvun lopulla ABB Toolsin muovitekniikan yksikkö ruiskuvalukoneineen siirtyi Junkkari Muovin omistukseen. Junkkari Muovi Oy vaihtoi nimensä MSK Plast Oy:ksi vuonna 2016.

MSK Plast hyödyntää tehtaallaan sekä ruisku- että reaktiovalutekniikoita, joiden avulla voidaan valmistaa sekä hyvin erimallisia että -kokoisia muoviosia monen eri teollisuudenalan käyttöön (MSK Group, i.a.). Ruiskuvalu on yksi yleisimmistä muovin valmistustekniikoista, ja sitä käytetään erityisesti silloin, kun valmistettavat määrät ovat suuria, ja menetelmä so-
pii hyvin myös erittäin pienien osien valmistukseen. Ruiskuvalutekniikalla valmistetut tuotteet ovat käytössä erityisesti elektroniikka-, ajoneuvo- ja teknologiateollisuudessa. MSK Plast Oy:n tehtaalla on kolmisenkymmentä ruiskuvalukonetta, joilla valmistetaan tuotteita yli sadasta erilaisesta muoviraaka-aineesta (I. Ruotsalainen, henkilökohtainen tiedonanto, 22.5.2024). Valmistettavien tuotteiden koko vaihtelee yhdestä grammasta viiteen kilogrammaan.

Reaktiovalumenetelmällä puolestaan valmistetaan suurempia muovikappaleita, esimerkiksi jopa kolmen metrin pituisia työkoneiden osia, kuten konepeiton komponentteja (Järvinen, 2017, s. 179). Reaktiovalun materiaalina käytetään PDCPD:tä, joka on kaksikomponenttinen, nestemäinen ja hyvin juokseva kertakäyttöinen muoviraaka-aine (mts. 174).

Tässä työssä suunniteltu pienautomaatiolaite toimii ruiskuvalukoneen kanssa, joten seuraavissa luvuissa keskitytään nimenomaan MSK Plast Oy:n ruiskuvalutehtaaseen (kuva 1).



Kuva 1. MSK Plast Oy:n tehdas Ylihärmässä (MSK Plast Oy, 2023).

MSK Plast Oy:n ruiskuvalutehtaalla muovituotteiden tuotantoprosessien tehostaminen ja automaation lisääminen ovat jo pitkään olleet tärkeä osa yrityksen toiminnan jatkuvaa kehitystä, ja suurin osa tehtaassa valmistettavista tuotteista onkin toteutettu pitkälti täysin automaattisesti. Tehtaalla käytetään ruiskuvalukoneiden yhteydessä toimivia robotteja, jotka hakevat valmiit tuotteet ruiskuvalukoneiden muoteista viereisille kuljetinhihnoille jäähtymään. Tämän jälkeen tuotteet pudotetaan laatikoihin, jotka työntekijä pakkaa lavoille ja siirtää edelleen pakkaamoon ja siitä varastoon.

Kaikkien valmistusprosessien automatisointi ei kuitenkaan ole aina yhtä helppoa, sillä jotkin tuotteet vaativat useita erilaisia valmistusvaiheita; tuotteisiin voidaan esimerkiksi ajaa eri väristä materiaalia tai useampaa eri raaka-ainetta. Joihinkin muovituotteisiin taas

tarvitaan metallisia inserttejä, jotka viedään muottiin ennen ruiskuvalua, jonka jälkeen muovi ajetaan muottiin ja inserttien ympärille. Aivan kaikkien tuotteiden valmistusta ei myöskään kannattavuussyistä ole järkevää automatisoida, sillä esimerkiksi tilausmäärät voivat olla hyvin pieniä.

Uusia automaatoratkaisuja pyritään kuitenkin jatkuvasti kehittämään, jotta voitaisiin tehostaa tuotantoa ja vähentää laatuvirheitä, sekä siirtää työntekijät vaativampiin tehtäviin. Monille tehtaassa valmistettaville tuotteille onkin jo kehitetty joitakin yksilöllisiä ratkaisuja automatisoinnin parantamiseksi, ja tässä opinnäytetyössä perehdytään yhteen niistä.

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on suunnitella MSK Plast Oy:n tehtaalle muoviosien (kuva 2) valmistuksen yhteydessä käytettävä laite, jolla pystyttäisiin lisäämään automaatiota tiettyjen tuotteiden tuotantoprosessissa. Laitteella pyritään vähentämään sellaisia tuotannonaikaisia, työntekijöille yksitoikkoisia työtehtäviä, jotka myös vaativat paljon odottelua. Laitteen tulisi olla mahdollisimman helppokäyttöinen, tarvittaessa vaivaton huoltaa ja sillä pitäisi olla hyvä toimintavarmuus. Lisäksi laitteella valmistettavien tuotteiden laadun täytyisi olla vähintäänkin yhtä hyvä kuin nykyprosessissakin. Olisi myös toivottavaa, että laite olisi siirrettävissä eri ruiskuvalukoneille tarpeen mukaan.



Kuva 2. Laitteen avulla valmistettava muovituote kuvassa oikealla.

1.3 Työn rakenne

Tämä opinnäytetyö koostuu viidestä luvusta. Johdannossa esitellään tämän opinnäytetyön taustat ja tavoitteet, sekä kerrotaan hieman yrityksestä, jolle tämä toimeksianto tehdään. Seuraavassa luvussa tarkastellaan yrityksen nykytilannetta, sisältäen yrityksessä jo käytössä olevia automaattioratkaisuja sekä nykyisten muoviosien valmistamisvaiheita. Kolmannessa luvussa perehdytään työn teoreettiseen viitekehykseen, kuten eri automaatiojärjestelmiin, erinäisiin väyliin, sekä automaation kenttälaitteisiin. Luvussa käydään lisäksi läpi myös ohjelmoitavia logiikoita, robotteja sekä käsitellään automaatiolaitteen suunnitteluprosessin vaiheita ja turvallisuusdirektiivejä. Työn toteutus käydään läpi luvussa neljä, jonka osioissa on koko suunnitteluprosessi, sisältäen laitteen suunnittelutyön, komponenttien valinnan, ja laitteen 3D-mallintamisen. Viimeisessä luvussa on työn yhteenveto ja tekijän omaa pohdintaa.

2 NYKYTILANNE

2.1 Työn kulku

Suurin osa tehtaassa tuotettavista osista valmistetaan automaattisesti, eli työntekijän ei tarvitse osallistua itse muovituotteen valmistukseen. Työntekijät lähinnä keräävät, pakkaavat ja punnitsevat tuotteet. Lisäksi jotkin tuotteet vaativat linjalta tullessaan viimeistelyä, esimerkiksi siistimistä erilaisilla työkaluilla. Jotkin tuotteet kuitenkin vaativat monia eri valmistusvaiheita, ja vaikka näistäkin tuotteista osa voidaan valmistaa täysin automaattisesti, käytetään osassa tuotteita edelleen työntekijää robotin sijaan, koska se on kustannustehokkaampaa tuotteiden pienien valmistuserien vuoksi. Nämä manuaaliset työvaiheet ovat useimmiten hyvin yksitoikkoisia. Käytännössä ihminen vie käsin jonkin muoviosan aihion muottiin ja tämän muoviosan päälle valetaan jotakin toista materiaalia tuotteen valmistusmäärittelyn mukaisesti. Tähän prosessiin kuluu turhaan paljon työaikaa, kun työntekijä joutuu odottamaan kappaleen valmistumista. Pisimpään ruiskuvaluprosessissa on odotettava valmistettavien kappaleiden jäähtymistä, ettei muovi olisi enää juoksevaa ja säilyttäisi muotonsa muotin avautuessa. Tämän jälkeen työntekijä poimii tämän kappaleen muotista ja sama prosessi toistuu uudelleen. Tässä opinnäytetyössä suunniteltavan laitteen tarkoituksena onkin auttaa tällaisten tuotteiden valmistuksessa, jolloin nämäkin tuotteet voitaisiin viedä muottiin robotilla ja työvaiheet eivät vaatisi enää työntekijän jatkuvaa paikalla oloa.

Tässä opinnäytetyössä suunniteltava laite tukee muovisia painonappilevyjä valmistavaa ruiskuvalukonetta. Kyseisen painonappilevyn valmistus on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa painonappilevyn runko valetaan läpikuultavasta polykarbonaatista, ja toisessa vaiheessa kappaleen päällimmäiselle puolelle ajetaan termoplastista elastomeeria.

Nykyisen valmistusprosessin työvaiheet tiivistettynä:

1. Työntekijä asettaa kappaleen paikoilleen ruiskuvalukoneen muottiin ja sulkee koneen luukun.
2. Ruiskuvalukoneen muotti sulkeutuu ja ruiskuvaluprosessi alkaa.

3. Muottiin puristetaan muovia tämän kappaleen päälle.
4. Odotetaan muovin jäähtymistä, jonka jälkeen muotti avautuu.
5. Työntekijä avaa ruiskuvalukoneen luukun ja ottaa valmiin tuotteen ulos muotista ja prosessi alkaa alusta.

2.2 Tehtaassa käytössä olevat robotit

Tehtaassa on käytössä erilaisia robotteja monelta valmistajalta, muun muassa ABB:n ja Fanucin valmistamat kiertyväniveliset robotit sekä Engelin valmistamiin ruiskuvalukoneisiin kuuluvat lineaaribotit. Fanucin robotit ovat käytössä olevista roboteista ikäluokaltaan vanhimpia, ja niitä on alettu korvaamaan ABB:n uudemmilla roboteilla. Tässä opinnäytetyössä suunniteltava apulaite tulee kuitenkin käyttöön robottisoluun, jossa on Fanucin kiertyvänivelinen robotti.

Robotteja käytetään tehtaassa muoviosien valmistuksessa hakemaan valmiit kappaleet ruiskuvalukoneen muotista ja siirtämään ne viereiselle liukuhihnalle, jossa nämä vielä lämpimät muoviosat ehtivät jäähtymään hetken aikaa, ja näin säilyttävät paremmin muotonsa ennen kuin ne pudotetaan linjan päädyssä olevaan laatikkoon (kuva 3).



Kuva 3. Muoviosia laatikossa.

Useimpien tuotteiden poiminta muotista tapahtuu robotin työpisteeseen kiinnitettävällä työkalulla, tarttujalla, jotka valmistetaan paikan päällä tehtaassa. Yleensä tarttujissa käytetään alipaineella toimivia erikokoisia imukuppeja sekä pneumaattisia pihtejä. Vaikka markkinoilla on olemassa niin kutsuttuja yleistarttuvia, vaihtelevat valmistettavien tuotteiden koot ja muodot niin paljon, että useimmille tuotteille on olemassa oma tarttujansa, jota käytetään vain kyseisen tuotteen valmistukseen.

3 AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT

Automaatiojärjestelmä voi olla yksittäinen ohjelmoitava logiikkalaite tai koko tehtaan toiminnan ohjaamiseen tarkoitettu järjestelmä. Fonselius ym. (1999, s. 14) määrittelevät automaatiojärjestelmän koostuvan automaatiolaitteista ja ohjelmistoista, jotka toteuttavat tietyn prosessin hallintaan tarvittavat automatisoidut osat.

Laitteet, joilla ihminen ohjaa ja valvoo prosessia ovat osa automaatiojärjestelmää (Fonselius ym., 1999, s. 9). Tämä järjestelmä koostuu kolmesta alueesta: kentästä, kojetilasta ja valvomosta. Kenttäalueella olevia järjestelmän osia kutsutaan kenttälaitteiksi. Niitä ovat esimerkiksi prosessiin kytketyt anturit, toimilaitteet, mittalähettimet ja erilaiset toimielimet (mts. 10). Kojetila on prosessointiaseman roolissa, sen tehtävänä on vastaanottaa kenttälaitteilta tulevat viestit. Viestit muutetaan sellaiseen muotoon, että järjestelmä ymmärtää niitä. Sen pohjalta järjestelmä pystyy antamaan ohjeita esimerkiksi venttiileille, toimilaitteille ja moottorien ohjaukseen. Valvomo on havainnointikeskus, josta ihminen saa laitteen mittaus- ja hälytystietoja sellaisessa muodossa, jotka ovat ihmisen ymmärrettävissä.

Maanosen (i.a.) mukaan tällä hetkellä yleisimpiä automaatiojärjestelmien valmistajia ovat Siemens, Omron, Rockwell Automation, Schneider Electric, Mitsubishi Electric, ABB ja GE. Automaatiojärjestelmissä käytetään yleisimmin PLC:tä (Programmable Logic Controller), eli suomeksi ohjelmoitavia logiikoita. HMI (Human-Machine Interface) -termiä käytetään kuvaamaan ihmisen ja koneen välistä käyttöliittymää. Seuraavissa luvuissa käydään läpi vielä tarkemmin automaatiojärjestelmissä käytettäviä osia, niiden toimintaa ja tiedonsiirtoa eri laitteiden välillä.

3.1 Kenttälaitteet

Kenttälaitteita ovat automaatiojärjestelmässä käytettävät anturit, erilaiset toimielimet ja mittaus- tai toimilaitteet (Fonselius ym., 1999, s. 10). Kenttälaitteisiin lukeutuvat sellaiset laitteet, jotka kommunikoivat kenttäväylän kautta muiden kenttälaitteiden, automaatiolaitteiden ja loppujen lopuksi ihmisen kanssa.

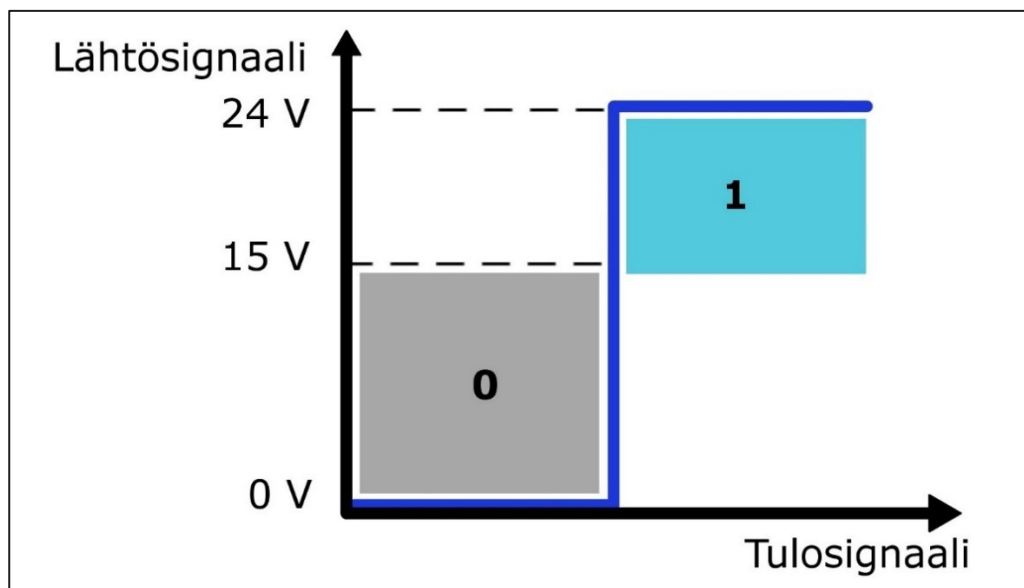
3.1.1 Mittalaitteet

Mittalaitteilla, eli antureilla, saadaan tietoa fysikaalisista tai kemiallisista ilmiöistä, jonka mittalaite muuntaa automaatioprosessin kannalta käyttökelpoiseen muotoon (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 206).

Mittaavia antureita käytetään enimmäkseen prosessiteollisuudessa ja kiinteistöautomaatiossa, sillä näillä aloilla tarvitaan katkeamatonta informaatiovirtaa mitattavista kohteista, ja lisäksi mitattavien kohteiden arvot voivat vaihdella huomattavasti mittausjakson aikana (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 206). Anturit lähettävät tietoa yleensä analogisena signaalina.

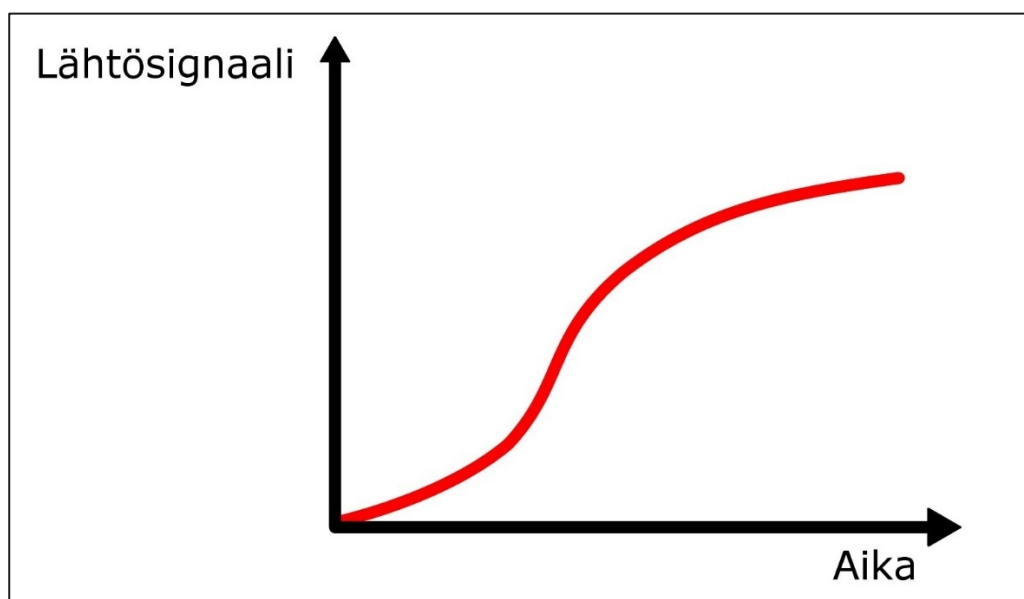
Tunnistavat anturit keräävät ja lähettävät tietoa esineiden ja koneen osien paikoista, joten ne ovat olennaisia erityisesti kappaletavara-automaation parissa (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 206). Jotkut tunnistavat anturit toimivat koskettamatta esinettä, näitä kutsutaan myös lähestymiskytkimiksi. Tunnistavat anturit lähettävät yleensä vain binäärisignaalia: joko anturi tunnistaa esineen (signaalin tila = 1) tai anturi ei tunnista esinettä (signaalin tila = 0).

Mittalaitteiden kaksiarvoisella mittaussignaalin eli binäärisignaalin on olemassa vain kaksi tilaa, "0" tai "1" (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 206). Voidaan esimerkiksi päätellä, että jos anturin signaalin jännite on välillä 0–15 V, antaa signaali arvoksi "0", ja kun jännite on välillä 15–24 V, on signaalin arvo "1" (kuvio 1).



Kuvio 1. Binäärisignaali (perustuu Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 206)

Analoginen signaali (kuvio 2) muuttuu mittausjakson aikana portaattomasti sen mukaan, miten mitattava ilmiö, kuten pyörimisnopeus tai lämpötila, muuttuvat jakson aikana (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 206).



Kuvio 2. Analoginen signaali (perustuu Keinänen ja Sumujärvi, 2019, s. 206)

3.1.2 Toimilaitteet

Liikkeen toteutus ja tarkka liikkeiden hallinta on tärkeä osa koneautomaatiolaitteiden toimintaa (Keinänen ym., 2010, s. 71). Liikkeet toteutetaan toimilaitteilla, joihin lukeutuvat muun muassa erilaiset sähkömoottorit sekä pneumaattiset ja hydrauliset sylinterit.

Plant Automation Technologyn (i.a.) mukaan toimilaitteiden valinnassa on otettava huomioon seuraavat suorituskyyntä liittyvät ominaisuudet:

- Toimilaitteiden liikkeen on oltava tasaista kuormituksesta riippumatta.
- Erilaiset teolliset tuotantoympäristöt eivät saa vaikuttaa toimilaitteen suorituskyyntä.
- Toimilaitteet tarvitsee mahdollisimman vähän säännöllistä huoltoa.
- Toimilaitteiden on tuotettava tarkkaa ja toistettavissa olevaa liikettä.
- Toimilaitteen on voitava sekä käynnistyä että pysähtyä välittömästi ilman, että esiintyy tyhjäkäyntiä tai asento ylittyy.

Pneumatiikan yleisimmillä toimilaitteilla, paineilmasylintereillä, saadaan aikaan nopeaa liikettä, sillä ilma on herkkäliikkeistä väliainetta (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 122). Niiden liikettä on pidetty kokoonpuristuvuuden vuoksi yleisesti epätarkkana, mutta tuotekehityksen ansiosta markkinoille on tullut myös niin kutsuttuja älykkäitä sylintereitä, jotka ovat tavallisia paineilmasylintereitä tarkempia. Paineilmasylinterit ovat joko yksi- tai kaksitoimisia, ja niillä voidaan esimerkiksi kiinnittää kappaleita toisiinsa, siirtää tuotteita tai kehittää voimaa. Paineilmasylinterin variaatioita ovat mm. standardisylinterit, männänvarrettomat sylinterit, lukkolaitesylinterit, tandemsylinterit, vääntösylinterit ja lyhytrakennesylinterit.

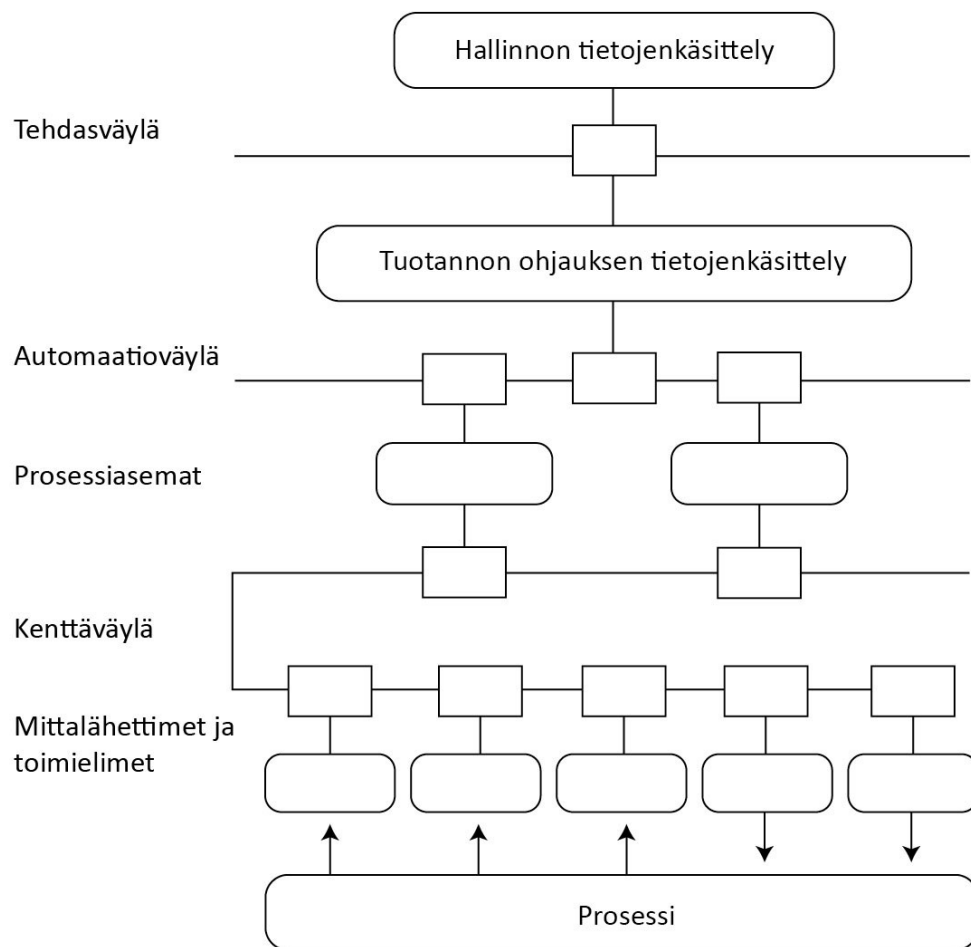
Hydraulisylinterillä saadaan aikaan suoraviivaista, eli lineaarista, liikettä (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 156). Yksitoimisella hydraulisylinterillä saadaan voima siirtymään vain yhteen suuntaan, kun taas kaksitoimisella sylinterillä voima saadaan molempiin suuntiin. Kaksitoiminen sylinteri onkin sen vuoksi eniten käytetty sylinterityyppi.

Erityyppisiä sähköllä toimivia moottoreita käytetään yleisesti automaatiolaitteissa tarvittavan pyörivän tai lineaarisen liikkeen tuottamiseen (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 230). Moottorityyppejä ovat:

- Tasavirtamoottorit: käytetään yleensä, jos vaihtosähköä on huonosti saatavilla tai moottori käyttää akkua energianlähteenä.
- Oikosulkumoottorit: toimintavarma moottori, jonka rakenne on standardisoitu (mts. 232). Yleisin teollisuudessa käytössä oleva moottori.
- Kestomagneettimoottori: rakenne muistuttaa oikosulkumoottoria, mutta koska roottorissa ei tarvita erillistä käämitystä eikä oikosuljettua häkkiä, ei moottorissa ole roottorihäviöitä (mts. 241).
- Tähtireluktanssimoottori: toimii parhaiten taajuusmoottorikäytössä; ei voida liittää suoraan sähköverkkoon (mts. 241).
- Askelmoottori: sopii tarkkaa paikoitusta vaativiin laiteohjauksiin (mts. 242).
- Servomoottori: takaisinkytketty ja säädetty moottoriratkaisu, joita käytetään, kun tarvitaan hyvää dynamiikkaa ja tarkkuutta (mts. 243).

3.2 Kenttäväylät

Automaatiojärjestelmissä tieto eri kohteiden välillä siirtyy väylien kautta, ja siirrettävän tiedon hierarkiataso määrää väylän nimen: tehdasväylällä siirretään hallinnollisia, esimerkiksi tilauksiin liittyviä tietoja, automaatioväylällä taas siirtyvät asemien väliset tiedot, ja kenttäväylä yhdistää kenttälaitteet ja prosessiasemat (Fonselius ym., 1999, s. 15). Kuviossa 3 on havainnollistettu automaatiojärjestelmän tiedonsiirtoväyliä kaavion muodossa.



Kuvio 3. Automaatiojärjestelmän tiedonsiirtoväylät (perustuu Fonselius ym., 1999, s. 16)

Kenttäväylä (Fieldbus) on osa automaatiojärjestelmää, jonka kautta järjestelmän eri osat vastaanottavat ja lähettävät signaaleja toisilleen (Keinänen ym., 2010, s. 9). Kenttäväylän kautta ohjelmoitavat logiikat voivat keskustella keskenään. Esimerkiksi tehtaassa eri tietokoneet ja logiikat voivat siirtää tietoa liittyen tuotantoprosessin eri työvaiheiden etenemisestä toisilleen. Tuotannonohjauksen näkökulmasta kenttäväyliä käytön etuja ovat esimerkiksi tarvittavien kaapelien määrän vähenemisestä johtuvat säästöt, digitaalisessa muodossa siirrettävä tieto, joka on koko tietoverkon käytettävissä, sekä järjestelmän laajentamisen helppous.

3.2.1 Profibus

Profibus (Process Field Bus) on digitaalinen tiedonsiirtoprotokolla, joka kehitettiin 1980-luvun loppupuolella useiden merkittävien automaatioalalla toimineiden yritysten yhteistyönä

(Ferry, 2023). Siitä on sittemmin muodostunut yksi alan laajimmin käytetyistä protokollista. Profibus syntyi tarpeesta luoda standardisoitu kommunikaatioprotokolla teollisuuden automaatiolaitteistojen ja -järjestelmien välille näiden käytön yleistyessä ja järjestelmien monimutkaistuessa. Vastatakseen alan jatkuvasti muuttuviin vaatimuksiin Profibus-kenttäväylää on paranneltu ja kehitetty tehokkaammaksi useiden versiorevisioiden myötä vuosien saatossa.

Profibus-protokollan ensimmäinen julkaistu versio oli Profibus FMS (Fieldbus Message Specification), joka oli suunniteltu pääasiallisesti tietokoneiden ja ohjauslaitteiden väliseen viestintään (Real Time Automation (RTA), i.a.). Se tarjosi useita kehittyneitä ominaisuuksia, kuten viestien reitityksen ja aikasykronoinnin (Embien, i.a.). FMS-protokollan joustamattomuuden takia se ei soveltunut yksinkertaisten viestien lähettämiseen laaja-alaisissa laiteverkoissa. Sen monimutkaisuuden vuoksi alettiin laatimaan yksinkertaisempaa kenttäväyläprotokollaa.

Profibus DP (Decentralized Periphery, vapaasti suomennettuna hajautetut kenttälaitteet) oli vastaus tähän. Profibus DP:n lanseeraus vuonna 1993 oli yksi tärkeimmistä merkkipäaluista Profibusin kehityshistoriassa ja siitä tuli tosiasiallinen Profibus-standardi. Profibus DP oli suunniteltu eritoten ohjelmoitavien logiikoiden ja kenttälaitteiden väliseen nopeaan viestintään (Acromag, 2009). Se helpotti konfigurointia (RTA, i.a.) ja sen tarjoaman korkean tiedonsiirtonopeuden ansiosta se soveltuu reaaliaikaista valvontaa ja ohjausta edellyttäviin käyttökohteisiin (Ferry, 2023).

3.2.2 ASi

ASi-kenttäväylä (Actuator Sensor Interface) on standardisoitu kenttäväyläjärjestelmä ja protokolla, jolla voidaan liittää kenttälaitteita yhteisen tiedonsiirtovälineen kautta ylempään ohjaustasoon (Bürkert, i.a.). Kenttälaitteet voidaan integroida olemassa oleviin verkkoihin esimerkiksi yhdyskäytävän tai ns. ASi-master-väylän kautta. ASi-kenttäväylällä on käytössä oma 2-johtiminen keltainen ASi-profiilikaapeli, jota käytetään sekä tiedonsiirtoon kenttälaitteen ja ylemmän ohjaustason välillä että virransyöttöön kenttälaitteille. Jos halutaan lisätä tiettyjä 24 voltin tasavirtakenttälaitteita tai -moduuleja, voidaan tarvittaessa käyttää mustaa profiilikaapelia.

ASi toimii master-slave-periaatteella kenttälaitetasolla (Bürkert, i.a.). ASi-master hallinnoi tietoliikennettä ja yhdistää slave-kenttälaitteet tai kompaktit kenttämoduulit ylemmän tason ohjaimeen. Tiedonsiirto ASi-masterin ja slave-laitteiden välillä tapahtuu syklisenä pyyntönä: ASi-master lähettää slave-laitteille tietoa, josta ne valikoivat vain kyseiselle laitteelle tarkoitetun tiedon, ja lähettävät sitten vastauksen takaisin ASi-masterille.

ASi:n etuja ovat (Bihl+Wiedemann, i.a.):

- Käyttöönotto on kustannustehokasta, sillä komponenttien kokoonpano on yksinkertaista, ja tämä onnistuu turvallisesti ja virheettömästi myös ilman koulutusta.
- Koska tarvitaan vain yksi kaapeli sekä tiedonsiirtoa että virtaa varten, vähentyvät sekä materiaali- että kokoonpanokustannukset.
- Kenttäväyläverkon fyysisen rakenteen voi päättää itse, ja jokaisen ASi-moduulin voi asentaa mihin kohtaan verkkoa tahansa.
- ASi-kenttäväylää voi käyttää lähes kaikkien yleisimpien kenttäväyläjärjestelmien, kuten Profibusin, Profinetin, CC-Linkin ja EtherNet/IP:n, kanssa.

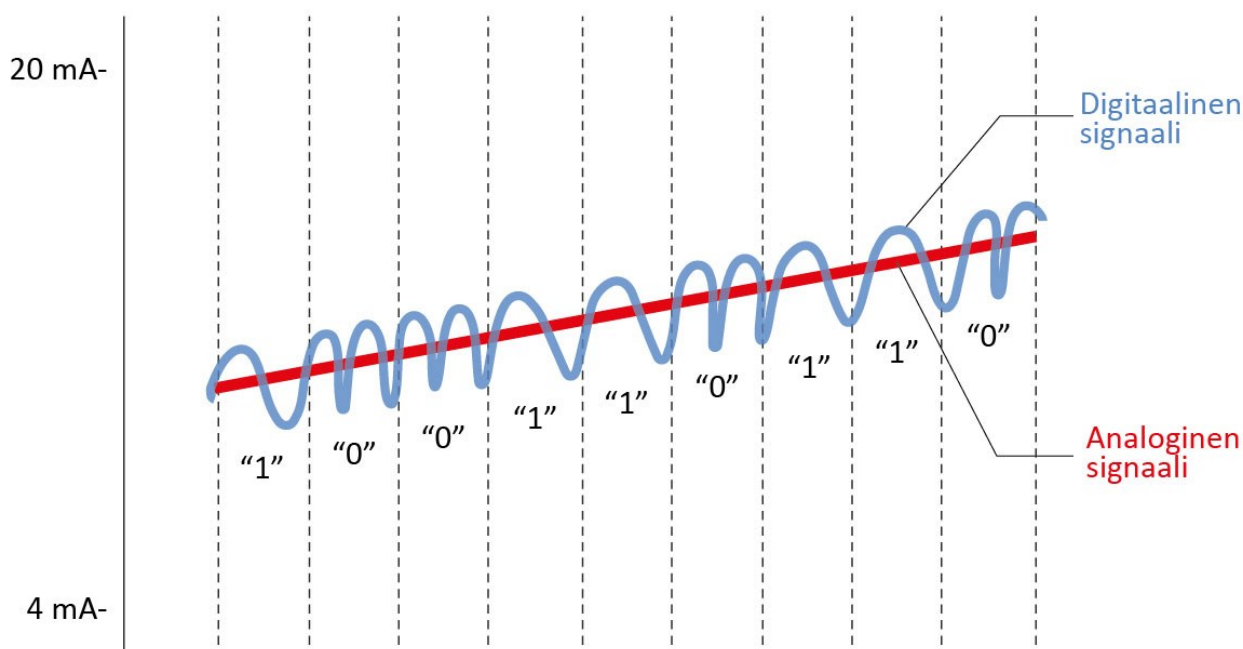
3.2.3 HART

HART-protokollan perusti 1980-luvun puolivälissä Rosemount Incorporated, joka on nykyisin Emerson Electricin omistama (Wu, 2023, s. 10). Nykyään FieldComm Group hallinnoi protokollaa, eli huolehtii sen ylläpidosta ja valvoo siihen tehtäviä muutoksia. HART (Highway Addressable Remote Transducer) on tiedonsiirtoprotokolla, jonka kautta voidaan siirtää tietoa kenttälaitteiden ja isäntäjärjestelmien välillä kaksisuuntaisesti (FieldComm Group, i.a.). Mikä tahansa ohjelmistosovellus voi toimia isäntäjärjestelmänä, kuten esimerkiksi tehtaan prosessinohjausjärjestelmä. HART-protokollaa käytettäessä tieto siirtyy kahden HART-yhteensopivan laitteen välillä, yleensä kenttälaitteen ja ohjaus- tai valvontajärjestelmän välillä. Protokollassa määritellyt kaapelien laatuvaatimukset takaavat signaalin häiriöttömyyden.

4–20 mA:n virtasilmukaviestintää käytetään yleisesti tehdasautomaatio- ja valvontasovelluksissa välittämään tietoja kenttä- ja isäntälaitteen välillä (Wu, 2023, s. 2). Kenttälaitte lähettää isäntälaitteelle virta-arvona ensisijaisen muuttujan, joka edustaa esimerkiksi

lämpötilan, virtauksen tai paineen mitattua arvoa. HART-signaali (digitaalinen signaali) yhdistetään tähän 4–20 mA:n, eli analogiseen, virtasilmukkaan, jotta digitaalista tietoa voitaisiin siirtää kahdensuuntaisesti.

HART-protokollasta on olemassa eri versioita, mutta vakiolähetys on taajuussiirtokoodattu, FSK-signaali (Frequency-Shift Keying), joka yhdistetään 4–20 mA-signaaliin (Wu, 2023, s. 2). FSK-signaalin bittisignaalit esitetään kahtena eri taajuuslähetyksenä, joista toinen edustaa 1:tä ja toinen 0:aa (kuvio 4). HART-protokollaa voi käyttää jo olemassa olevien järjestelmien kanssa, joten sen käyttöönotto on helppoa ja kustannustehokasta.



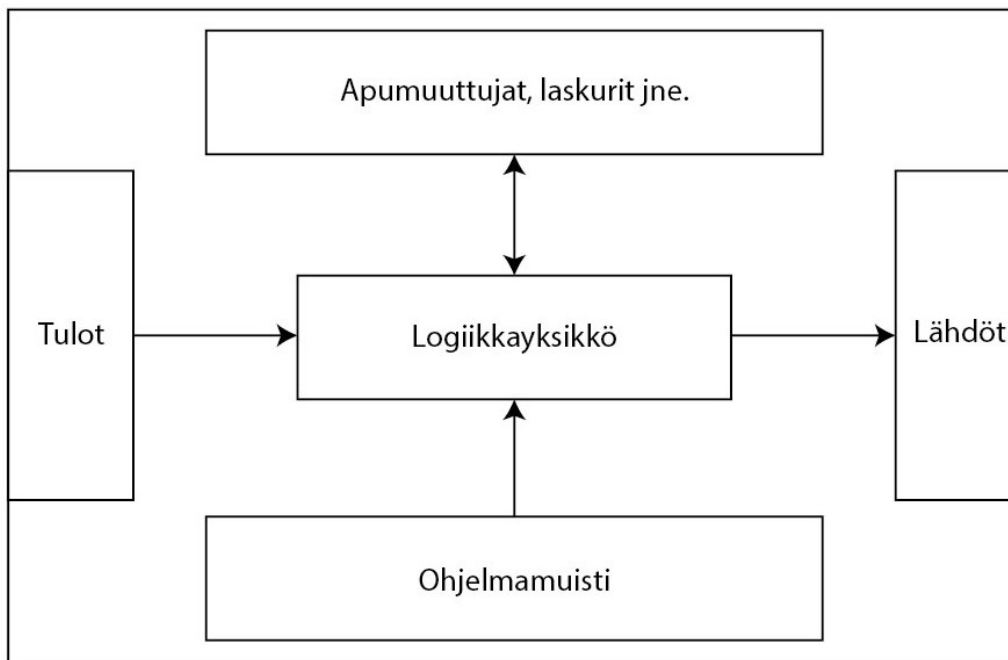
Kuvio 4. Digitaalinen ja analoginen signaali HART-protokollassa (perustuu FieldComm Group, i.a.)

3.3 Ohjelmoitavat logiikat

Teollisuudessa käytetään runsaasti ohjausjärjestelmiä, joissa järjestelmän vastaanottama tieto on binääristä; myös toimilaitteiden komennot ovat usein on/off-tyyppisiä (Keinänen ym., 2010, s. 221). Nämä komennot toteutettiin aluksi monimutkaisia langoituksia ja suuria

komponenttimääriä vaatineilla releillä. Ohjelmoitavat ohjausyksiköt kehitettiin korvaamaan näitä relejärjestelmiä.

Ohjelmoitavat logiikat, PLC (Programmable Logic Controller), ovat keskeinen osa ohjelmoitavia ohjausjärjestelmiä (Keinänen ym., 2010, s. 223). Ohjelmoitavan logiikan tuloihin liitetään ohjausjärjestelmän tilaa mittaavat anturit sekä lähestymiskytkimet, ja logiikan lähtöihin taas liitetään toimilaitteet (kuvio 5). Logiikan muistiin kirjoitetaan järjestelmää valvova ohjelma.



Kuvio 5. Ohjelmoitavan logiikan perusrakenne (perustuu Suomen Automaatioseura, 2005, s. 12)

PLC-järjestelmiä löytyy monessa eri koossa. Niitä voidaan käyttää korvaamaan vain muuttaman digitaalisen I/O-pisteen releitä (ns. minilogiikka), tai usean logiikan muodostamalla suurilla kokonaisuuksilla voidaan ohjata kokonaisia laitoksia (Suomen Automaatioseura, 2005, s. 13). Keskisuurissa ja sitä suuremmissa kokonaisuuksissa PLC-järjestelmissä käytetään yleensä kenttäväylää, jolla voidaan hajauttaa tarvittavat liitännät ohjattavaan prosessiin. Suurempia PLC-järjestelmiä on myös mahdollista laajentaa edelleen muun muassa erilaisilla mittaus- ja tiedonsiirtoyksiköillä sekä analogisilla ja digitaalisilla I/O-yksiköillä.

PLC:n ohjelmointityökalut ovat useimmiten PC-ohjelmia, ja Windows-käyttöjärjestelmään siirtymisen myötä eri valmistajien ohjelmointityökalut on ollut helpompi oppia, sillä yhteisenä pohjana oleva käyttöjärjestelmä on myös osakseen aiheuttanut sen, että ohjelmat ovat alkaneet muistuttamaan toisiaan toiminnaltaan ja käyttöliittymiltään (Suomen Automaatioseura, 2005, s. 13–14). Integrointi muihin suunnittelutyökaluihin sekä sovellusohjelmien tallentaminen tiedostopalvelimelle onnistuvat myös helpommin.

Ohjelmoitavien logiikkojen historia juontaa juurensa 1960-luvun loppupuolelle, jolloin yhdysvaltalainen autovalmistaja General Motors etsi keinoa korvataksaan yrityksellä silloin käytössä olleet monimutkaiset relejärjestelmät (Parr, 1998, s. 438). Muutoksien tekeminen kyseisiin järjestelmiin oli haastavaa ja releiden hajoamisista johtuvat jatkuvat häiriötilanteet aiheuttivat paljon tuotantoviiveitä (Ball, 2015). Yritys alkoi kehittämään ”Standard Machine Controller” -konseptiaan, jolle asetettiin tiettyjä vaatimuksia toivottujen ominaisuuksien suhteen; näistä tärkeimpiä olivat modulaarisuus, laajennettavuus ja helppo uudelleenohjelmoitavuus. Lisäksi järjestelmälle haluttiin vähintään 32 lähtöä ja 16 tuloa, joiden määrää voisi tarpeen mukaan kasvattaa ja sen haluttiin myös säilyttävän tiedot ohjelmista sähkökatkosten aikana.

Useita eri tahoja tarjoutui kehittämään ratkaisua tähän ongelmaan ja vuoden 1969 marraskuussa Bedford Associates sai valmiiksi prototyypinsä Modicon 084, joka täytti General Motorsin asettamat vaatimukset ja laite otettiin käyttöön heidän tehtaallaan (Ball, 2015). Siitä tuli suosittu tehtaan insinöörien ja sähköasentajien keskuudessa laitteen käyttämän ”tikapuulogiikan” ja helpon ohjelmoinnin ansiosta.

Myöhemmin Bedford Associatesin nimestä tuli Modicon ja laitteita ryhdyttiin myymään laajemmilla markkinoilla (Schneider Electric, i.a.). Modiconin osti Gould Electronics vuonna 1977, joka taas myi yrityksen AEG:lle 1989, joka yhdistyi Groupe Schneiderin kanssa 1994, ja vuodesta 1999 lähtien yrityksen nimi on ollut Schneider Electric.

3.4 Teollisuusrobotit

Teollisuusroboteilla on pystytty automatisoimaan monia työtehtäviä tuotantoteollisuudessa (Process Solutions, i.a). Automatisaation avulla ei ole vain lisätty kokonaistuotannon

tehokkuutta, vaan on myös pystytty parantamaan työntekijöiden turvallisuutta sekä vähentämään jätettä ja käyttökustannuksia. Eri teollisuudenaloilla on käytössä erityyppisiä robotteja, jotka sopivat hyvin erilaisiin työtehtäviin ja prosesseihin. Teollisuusrobotit koostuvat tyypillisesti seuraavista osista (Sufyan, 2024):

- Ohjain: Ohjain toimii robotin ja sen kontrollijärjestelmän ”aivoina”, sillä siitä löytyy robotin muisti ja prosessointiteho.
- Anturit: Robotin aistit, joita se käyttää kerätäkseen tietoa ympäristöstään.
- Voimansiirto ja voimalähde: Robotti voi käyttää sähköistä, pneumaattista, hydraulista tai mitä tahansa muuta voimanlähdettä, jolla se saa otettua ja muunnettua tehon toimintaansa varten.
- Robottikäsivarsi: Ihmisen käsivartta jäljittelevä robottikäsivarsi koostuu useista osioista, jotka on kiinnitetty toisiinsa nivelillä, joita voidaan ohjelmoida liikkumaan toivotunlaisesti.
- Robottikäsivarren työkalut: Työkalut ovat toimilaitteita, jotka liitetään robottikäsivarren päähän, ja niitä voidaan käyttää tuotantolaitoksissa hyvin monenlaisten tehtävien suorittamiseen, esimerkiksi hitsaukseen, maalaukseen tai tuotteiden kokoonpanoon. Joihinkin robotteihin on myös mahdollista vaihtaa työkaluja, jolloin niiden käyttötarkoitusta voidaan muuttaa.
- Koneoppiminen: Koneoppimisen algoritmit ovat olennainen osa teollisuusrobotiikkaa, sillä niiden avulla voidaan muuttaa valtavia tietomääriä käyttökelpoiseksi dataksi, minkä avulla robotit voivat oppia kokemuksistaan, parantaa itsenäistä päätöksentekokykyään sekä sopeutua uusiin tehtäviin entistä tehokkaammin.

3.4.1 Kiertyväniveliset robotit

Kiertyvänivelisessä robotissa robottikäsivarsi on kiinnitetty alustaan, jossa on kiertyvä nivel (Process Solutions, i.a.). Käsivarressa itsessään voi olla kahdesta kymmeneen kiertoniveltä, yleisimpiä ovat kuitenkin neljä- tai kuusiniveliset robotit. Nivelet toimivat akseleina. Mitä enemmän niveliä käsivarressa on, sitä suurempi on robotin liikelaajuus. Kiertyvänivelisiä robotteja käytetään tyypillisesti tuotteiden kokoonpanoon ja pakkaamiseen, kaarihitsaukseen, materiaalinkäsittelyyn ja koneenhoitoon. Kiertyväniveliset robotit pystyvät monipuolisempiin liikkeisiin verrattuna muihin robottikäsivarsiin, ja pystyvät nostamaan painavia

esineitä, mutta ovat toisaalta hitaampia kuin jotkin toiset robottikäsivarret, sekä myös kal-
liimpia (Fairchild, 2024).

3.4.2 Delta-robotit

Delta- tai rinnakkaisrobotit koostuvat kolmesta käsivarresta, jotka on liitetty työtilan yläpuo-
lle asennettuun alustaan (Process Solutions, i.a.). Delta-robotin liikkeet ovat tarkkoja ja
nopeita, koska kaikki kolme käsivartta ohjaavat kaikkia tarttujatyökalun niveliä. Delta-robot-
teja käytetään tyypillisesti nopeisiin poiminta- ja sijoitustoimintoihin elintarvike-,
lääke- ja elektroniikkateollisuuden piirissä. Delta-robotit ovat kevyitä, tarkkoja, ja nopein ro-
bottimalli poimintaan ja sijoitukseen, mutta niillä ei voi käsitellä painavia esineitä, eikä
myöskään työstää pystysuorassa tasossa olevia kohteita (Fairchild, 2024).

3.4.3 Lineaarirobotit

Lineaariset, tai karteesiset, robotit toimivat kolmella lineaarisella akselilla, jotka käyttävät
karteesista koordinaatistoa X, Y ja Z (Process Solutions, i.a.). Robotin liikkeet tapahtuvat
suorina linjoina kolmella akselilla, eli ylös ja alas, sisään ja ulos ja sivulta sivulle. Lineaari-
robottien etuina on niiden säätöjen monipuolisuus, joka antaa käyttäjille mahdollisuuden
säätää robotin nopeutta, tarkkuutta ja iskunpituutta. Lineaarirobotit ovatkin yksi yleisimmin
käytetyistä roboteista teollisissa sovelluksissa, ja usein niitä käytetään esimerkiksi 3D-tu-
lostuksessa. Lineaarirobottien hyviä ominaisuuksia ovat yksinkertainen ohjausjärjestelmä,
tarkkuus, sekä jäykkyys kaikilla kolmella akselilla ja mallista riippuen lineaarirobotit voivat
nostaa hyvinkin raskaita esineitä (Fairchild, 2024). Ne ovat myös halvempia kuin kierty-
väniveliset robottikäsivarret. Lineaariset robotit eivät kuitenkaan sovellu kiertoliikkeitä vaa-
tiviin sovelluksiin.

3.4.4 Sylinterirobotit

Sylinterirobotti muodostuu vähintään yhdestä pyörivästä nivelestä pohjassa ja kahdesta
lineaarinivelestä, mikä muodostaa sylinterin muotoisen työtilan (Fairchild, 2024). Sylinteri-
robotteja käytetään tyypillisesti ahtaissa työtiloissa sen kompaktin koon vuoksi, ja ne sopi-
vat erityisesti täydellistä pyöreyttä vaativiin esineisiin, kuten johtoihin ja putkiin. Hionta-,

kokoonpano- ja pistehitsaustoiminnoissa käytetään paljon sylinterirobotteja. Sylinterirobottien teknologia on kuitenkin vanhempaa, ja niiden liikeradat ovat rajoitettuja.

3.4.5 SCARA-robotit

SCARA-robotit (Selective Compliance Assembly Robot Arm) muistuttavat lineaarirobotteja siinä mielessä, että myös ne liikkuvat kolmella akselilla tai nivelellä, mutta toisin kuin lineaarirobotit, SCARA-robottien nivelistä kaksi on pyöriviä (Fairchild, 2024). Tämä mahdollistaa robotille monimutkaisemmat liikkeet kuin lineaariroboteilla. SCARA-robotit ovat yleensä nopeampia ja monipuolisempia liikkeissään, mutta häviävät tarkkuudessa lineaariroboteille. SCARA-robotteja käytetään erityisen paljon pienelektroniikkateollisuuden kokoonpanotoiminnoissa.

3.4.6 Polaarirobotit

Polaariroboteissa on käsivarsi kahdella pyörivällä nivelellä sekä kiertyväniveliseen alustaan liitetty lineaarinivel (Process Solutions, i.a.). Robotin akselit muodostavat yhdessä napakoordinaatiston, mikä muodostaa pallonmuotoisen työskentelyalueen robotille. Polaarirobotteja käytetään muun muassa paine- ja ruiskuvalussa, hitsauksessa ja materiaalinkäsittelyssä.

Polaarirobottien etuja ovat yksinkertaisempi ohjausjärjestelmä kuin kiertyvänivelisellä robotilla, pitkä ulottuvuus, jos käytössä on tarpeeksi suuri lineaarivarsi, ja sen hyvä soveltuvuus moniin hitsaustöihin (Fairchild, 2024). Ne eivät kuitenkaan ole yhtä monipuolisia liikkeissään kuin kiertyväniveliset robotit, ja ne ovat hitaampia kuin Delta-robotit. Robotti on myös vanhempaa teknologiaa, sillä polaarirobotit olivat ensimmäisiä teollisuusrobotteja ja niiden tilantarve on yleensä melko suuri.

3.4.7 Yhteistoimintarobotit

Yhteistoimintarobotit eli cobotit mahdollistavat turvallisen vuorovaikutuksen ja työskentelyn ihmisten kanssa samassa työtilassa (Fairchild, 2024). Yhteistoimintaroboteista erityisen yhteistyökykyisiä tekee se, että käyttäjä voi opettaa robotille liikkeitä ohjaamalla

robottikäsivartta omalla kädellään, ilman että liikkeitä tarvitsee ohjeistaa erillisellä koodilla. Yhteistoimintarobotteja voi käyttää monenlaisissa toiminnoissa, esimerkiksi poiminnassa ja sijoittelussa, kokoonpanossa ja kaarihitsauksessa tai koneenhoidossa. Robotin turvalleksi suunniteltu toiminta kuitenkin tekee siitä hitaamman kuin monesta muusta robotista, eikä sillä yleensä pysty käsittelemään kovin raskaita esineitä.

3.5 Automaatiolaitteen suunnittelu

Fonselius ym. (1999, s. 16) esittävät, että automaatiolaitteen suunnittelu aloitetaan selvittämällä käyttäjäliittymät ja toimintavaatimukset. Vaikka yleisesti automaatio kannattaa pyrkiä pitämään mahdollisimman yksinkertaisena, toteutuksen aikana järjestelmä yleensä kuitenkin monimutkaistuu, kun järjestelmään lisätään varmistuksia ja käyttöturvallisuutta parantavia ominaisuuksia. Suunnitteluprojekti voi olla täysin uuden automaatiolaitteen tai jo olemassa olevan koneen automatisointi, millä voidaan lisätä monia käyttäjäystävällisempiä ja toimintavarmuutta lisääviä ominaisuuksia.

Automaatiolaitteen suunnitteluprosessi vaatii kykyä yhdistää eri tekniikoita toimiviksi kokonaisuuksiksi, ja usein suunnitteluprosessissa joudutaan tekemään kompromisseja tai palaamaan prosessissa taaksepäin, jos ylitsepääsemättömiä haasteita tulee vastaan (Fonselius ym., 1999, s. 16). Kustannuksia ja aikataulua on seurattava jatkuvasti, ja usein on myös tehtävä yhteistyötä monen eri tahon kanssa, kuten asiakkaan, koneen käyttäjien, muiden suunnittelijoiden tai ohjelmoijien kanssa.

3.5.1 Turvallisuus

Suunnitteluprojektissa on huomioitava sähkö- ja koneturvallisuusasiat jo varhaisessa vaiheessa, EU:n direktiivit ja standardit ovat keskeisiä (Fonselius ym., 1999, s. 19). Standardeista löytyvät tarkat määrytykset, mutta niillä ei ole oikeudellista merkitystä (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 48). Tärkeimmät koneiden valmistamiseen liittyvät EY-direktiivit ovat (mts. 49):

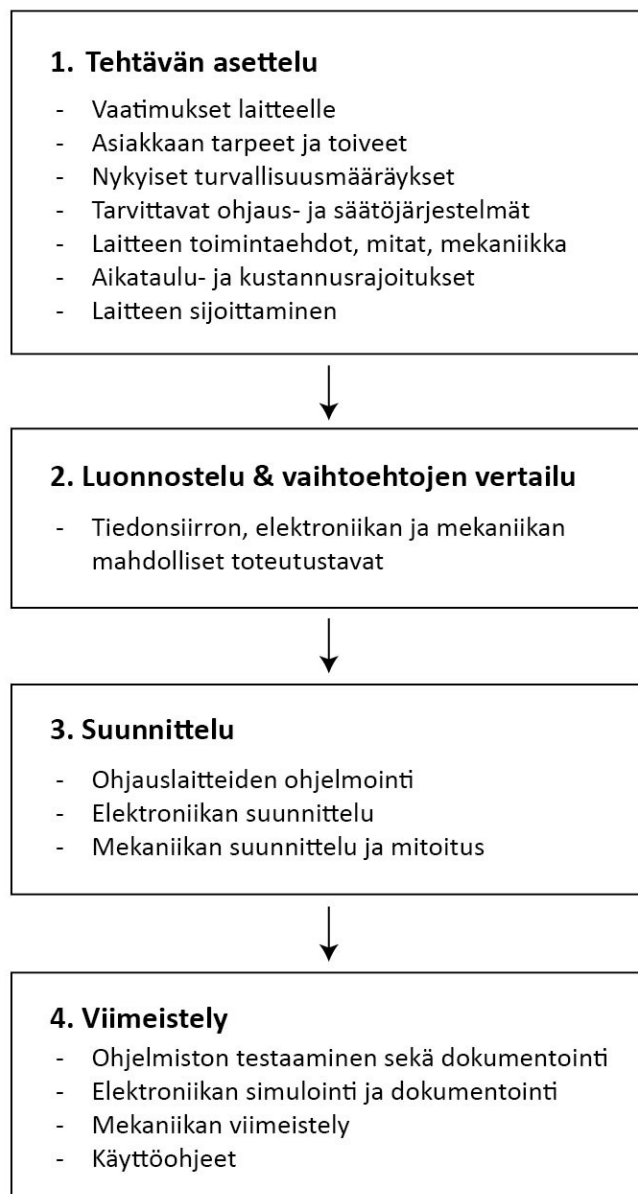
- Konedirektiivi RL 2006/42/EY: koneiden valmistamista koskevat turvallisuusvaatimukset

- EMC-direktiivi RL 2014/30/EY: sähkömagneettista yhteensopivuutta koskevat vaatimukset
- Pienjännitedirektiivi RL 2014/35/EY: sähkövirran aiheuttamaa vaaraa koskevat turvallisuusvaatimukset

Direktiiveistä tulee oikeudellisesti merkityksellisiä sitten, kun EU-maa säätää lakeja, joilla viitataan direktiiviin (Keinänen & Sumujärvi, 2019, s. 48). Yhden tai useamman EY-direktiivin alaisella koneella on oltava CE-merkintä (mts. 49). Tuotteen mukana on myös toimitettava vaatimustenmukaisuusvakuutus, josta käy ilmi, että tuotetta koskevat eurooppalaisten direktiivien vaatimukset täyttyvät.

3.5.2 Suunnitteluprosessin kulku

Kuviossa 6 on esitetty suunnitteluprosessin päävaiheet (Fonselius ym., 1999, s. 17–18).



Kuvio 6. Automaatiolaitteen suunnitteluprosessin vaiheet (perustuu Fonselius ym., 1999, s. 17–18)

4 TYÖN TOTEUTUS

Suunnittelutyö aloitettiin keräämällä tietoa yleisesti tämänkaltaisista automaatoratkaisuista ja vastaavista laitteista. Tietoa haettiin internetistä, ja lisäksi tehtaan työntekijöiltä saatiin hyviä ideoita ja automaatiolaitteen suunnittelun kannalta huomioitavia asioita. Tehtaassa käytiin pohtimassa, mille ruiskuvalukoneelle tällainen laite olisi hyvä sijoittaa, ja potentiaalisista kohteista otettiin mittoja ja havainnollistavia kuvia. Laitteessa päätettiin hyödyntää mahdollisimman paljon komponentteja, joita löytyi yrityksen varastosta, jotta ne pääsisivät hyötykäyttöön.

Tehtaalla ehdotettiin, että työntekijän täyttäessä laitetta olisi toivottavaa, että sylinterit eivät liikkuisi. Pneumaattiset sylinterit voivat olla vaarallisia, jos työntekijä vahingossa laittaa käntensä tai sormensa toimilaitteen väliin. Suunnitellussa laitteessa on tämän vuoksi ohjelmallisesti estetty sylinterien liike koneen ovien ollessa auki palettien tyhjäyksen ja täytön aikana. Laitteen liikkuvat osat ovat kosketuksen estävien suojalevyjen takana, joten toiminnan aikana ei ole vaaraa, että työntekijä satuttaisi itseään.

Laitteelle on varattu tehtaalla noin yhden neliömetrin kokoinen paikka olemassa olevan robottisolun yhteyteen (kuva 4). Robottisolun lattiaan asennetaan paikoitustapit, jotka pitävät laitteen lukittuna paikallaan. Tällä varmistetaan, ettei laite pääse vahingossa liikkumaan tuotantoajan aikana, sillä jos laite liikkuu tuotantoajan aikana, eivät robotin koordinaatisto ja paikoitus enää täsmää, jonka seurauksena robotti ei välttämättä saa vietyä kappaletta muottiin. Laitteen on kuitenkin tarkoitus olla siirrettävissä, joten siihen asennetaan renkaat. Kun laite on käytössä, renkaat voidaan taittaa pois tieltä, jotta laitteen paino ei olisi tuotantoajan aikana renkaiden, vaan laitteen jalkojen varassa.

4.1 Luonnostelu

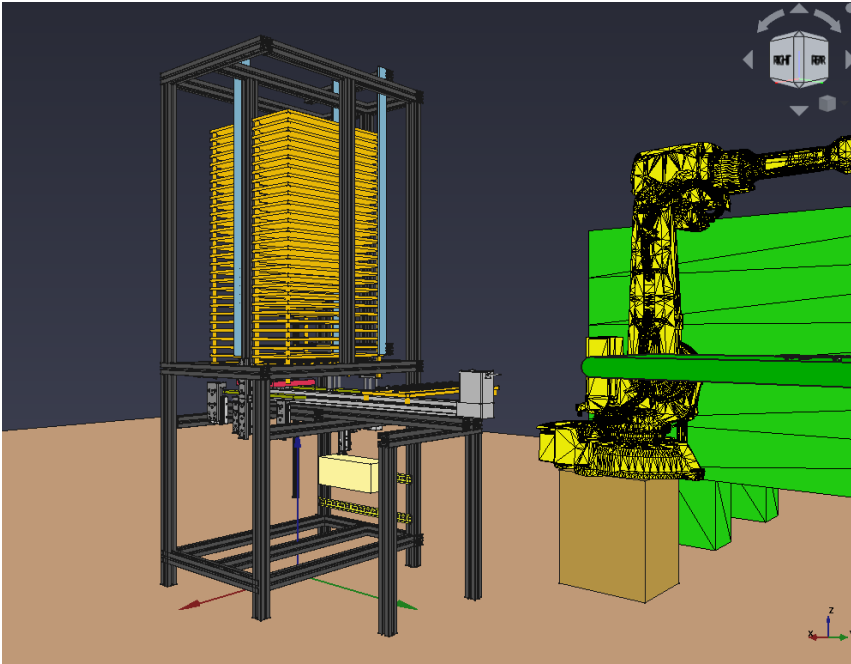


Kuva 4. Ruiskuvalukone, jolle automaatiolaite suunniteltiin.

Kun laitetta alettiin luonnostelemaan, luotiin tehtaasta otettujen mittojen perusteella hahmotelma alueesta, johon laite sijoitettaisiin. Laitteen tarkempaa sijaintia pohdittaessa oli tärkeää jättää tarpeeksi tilaa työntekijöiden kulkemista varten. Lisäksi oli myös varmistettava, että huoltohenkilöillä on helppo pääsy huollettavien laitteiden ja koneiden luo.

Rungon rakennetta hahmoteltiin käytettävissä olevan alueen sisälle ja samalla yritettiin pitää mielessä laitteen rakenteellinen kestävyys ja jäykkyys. Alustavia malleja laitteesta tehtiin 3D-malleina (kuvio 7), jotka toteutettiin ilmaiseksi saatavalla FreeCAD-ohjelmistolla.

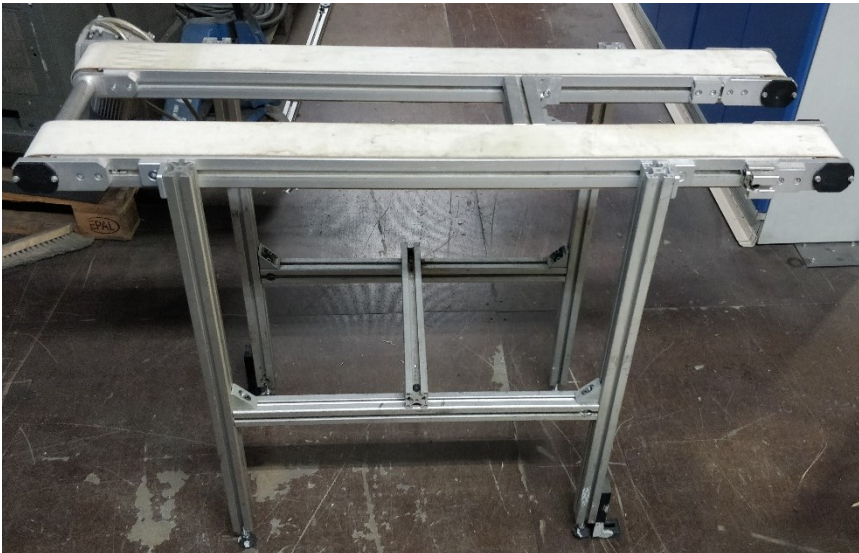
Laitteen sijoituskohteessa käytettävissä olevan tilan perusteella luotiin ensin laitteen runko, joka toimi pohjana kappaleille käytettävien palettien koon määrittämisessä. Tämän pohjalta luotiin paletteille alustavat minimi- ja maksimitat. Palettien suunnittelussa pohdittiin niissä käytettäviä materiaalivehtoehtoja, joista yhtenä vaihtoehtona oli polypropeeni, joka on materiaalina kevyttä ja edullista. Toinen vaihtoehto oli alumiini, joka on kestävämpää ja veisi vähemmän tilaa, mutta on toisaalta huomattavasti polypropeenaa tiheämpää, joten yksittäisen paletin kokonaispaino tulisi suuremmaksi. Alumiinipaleteista voidaan kuitenkin tehdä ohuempia kuin polypropeenista valmistetuista paletteista, joten niitä mahtuu laitteeseen kerralla enemmän. Näistä syistä päätettiin koneistaa alumiinista palettien rungot, joihin kiinnitetään 3D-tulostetut kohdistuspalat painonappilevyille.



Kuvio 7. Alustava 3D-malli laitteesta.

4.2 Komponenttien valinta

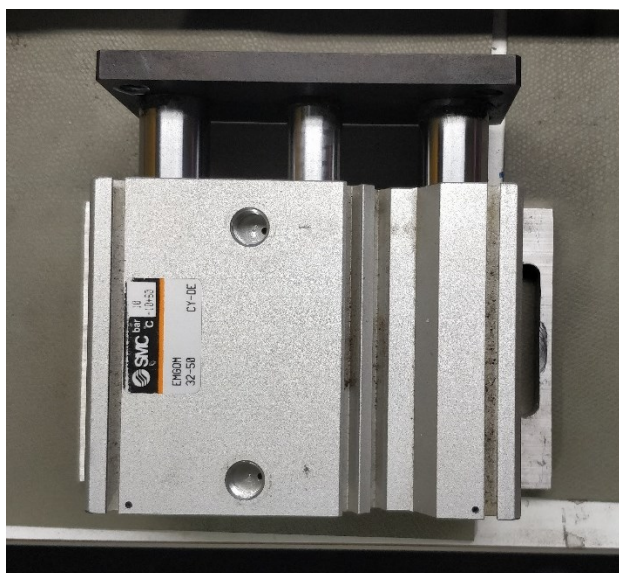
Laitteessa päätettiin käyttää 1200 mm pitkää ja 360 mm leveää kuljetinhihnaa siirtämään paletit robotin ulottuville (kuva 5), tämäkin löytyi valmiina tehtaalta.



Kuva 5. Kuljetinhihna laitteelle.

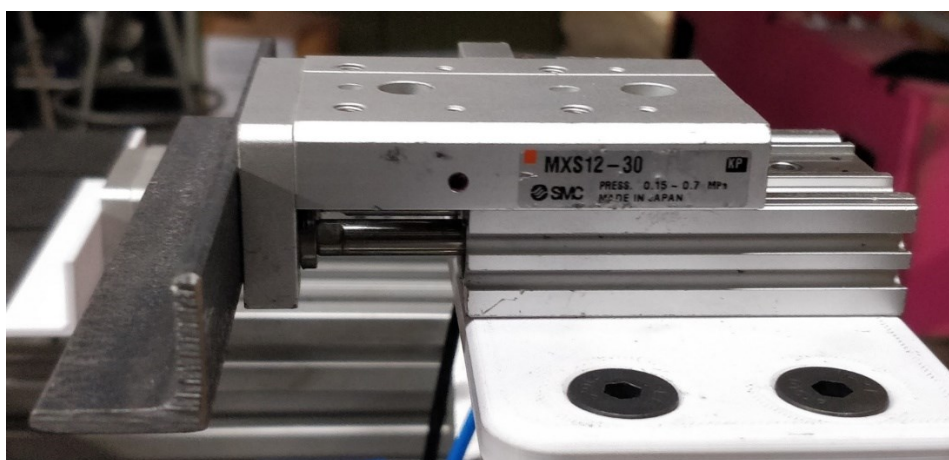
Pneumaattiset sylinterit valittiin laskennallisen kuorman, eli laitteessa käytettävien palettien arvioidun painon, mukaan. Se olisi alustavien arvioiden mukaan vähintään 30 kg. Tämä

tarkoittaisi, että sylintereiden yhteenlasketun nostovoiman tulisi olla vähintään noin 300 N, eli 150 N per sylinteri. Laitteeseen valittiin SMC:n EMGQM32-50-sylintereitä (kuva 6) yhteensä kahdeksan kappaletta. Näillä paletteja saadaan nostettua ja laskettua kuljetinhih-nalle. Yhden tällaisen sylinterin teoreettinen nostovoima on noin 400 N, joten näiden sylinterien yhteenlaskettu voima on käyttötarkoitukseen riittävä.



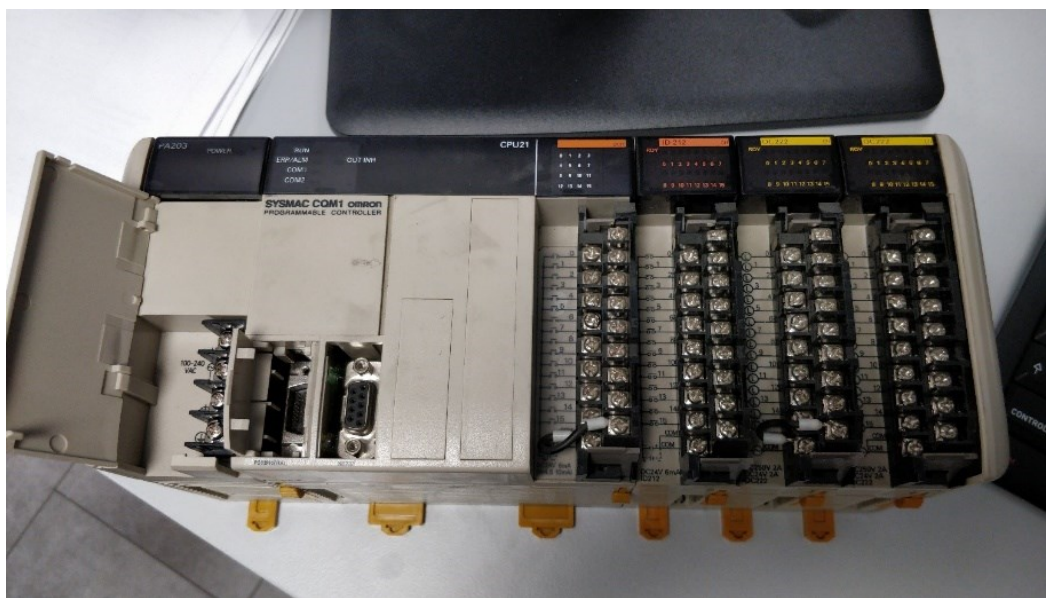
Kuva 6. EMGQM32-50.

Lisäksi palettien kannattimien sivuttaissuuntaista liikettä varten laitteeseen valittiin neljä kappaletta SMC:n MXS12-30 pneumaattisia sylintereitä (kuva 7). Näihin kyseisiin komponentteihin päädyttiin, koska niitäkin oli varastossa ylimääräisinä ja ne olivat muiltakin ominaisuuksiltaan käyttötarkoitukseen riittävät.



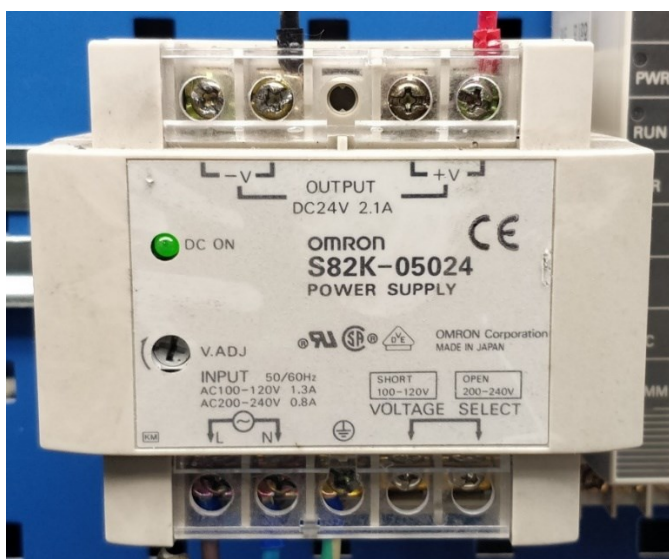
Kuva 7. MXS12-30.

Laitteen logiikaksi valikoitui Omronin CQM1-CPU21 (kuva 8). Logiikka on 1990-luvulta, joten teknologiana se on hieman vanhanaikaista, mutta koska sellainen löytyi ylimääräisenä varastosta ja toimii edelleen moitteettomasti, päädyttiin sitä hyödyntämään työssä. Logiikkaan lisättiin yksi ID212-lisäkortti ja kaksi OC222-lisäkorttia, jotta saatiin tarpeeksi tuloja ja lähtöjä eri signaaleita varten.



Kuva 8. Omron Sysmac CQM1 PLC.

PLC:n tulojen ja lähtöjen virtalähteeksi valittiin Omron S82K-05024 (kuva 9). Tämä syöttää 24 V:n tasavirtaa laitteen kaikkien anturien ja toimilaitteiden käytettäväksi.



Kuva 9. Omron S82K-05024 -virtalähde.

Kuljetinta ohjataan Omron Sysdrive 3G3JV -taajuusmuuttajalla (kuva 10). Tämä sen vuoksi, että kuljettimen liike on toteutettu servomootorilla, joka vaatii taajuusmuuttajan toimintaansa varten.



Kuva 10. Kuljettimen taajuusmuuttaja, Omron Sysdrive 3G3JV.

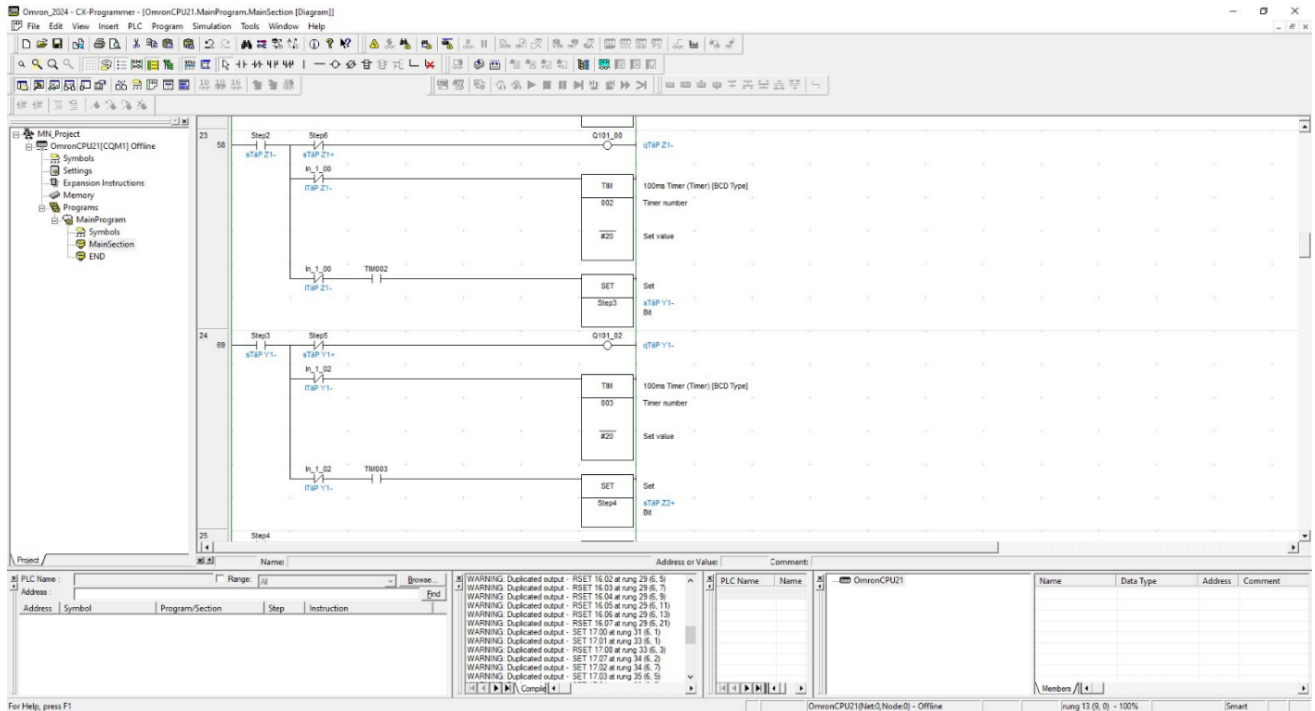
Taulukossa 1 luetellaan laitteen tärkeimmät komponentit. Tähän listaukseen ei laskettu tarvittavia pientarvikkeita, kuten kiinnikkeitä, paineilmaletkuja ja kaapeleita.

Taulukko 1. Lista komponenteista.

Komponentti	Kappalemäärä
Kuljetinhihna	1
Logiikan lisäkortti ID212	1
Logiikan lisäkortti OC222	2
Omron S82K-05024 virtalähde	1
Omron Sysdrive 3G3JV	1
Omron Sysmac CQM1 CPU21	1
SMC EMGQM32-50	8
SMC MXS12-30	4
SY5120-5LOU-01F-Q	6

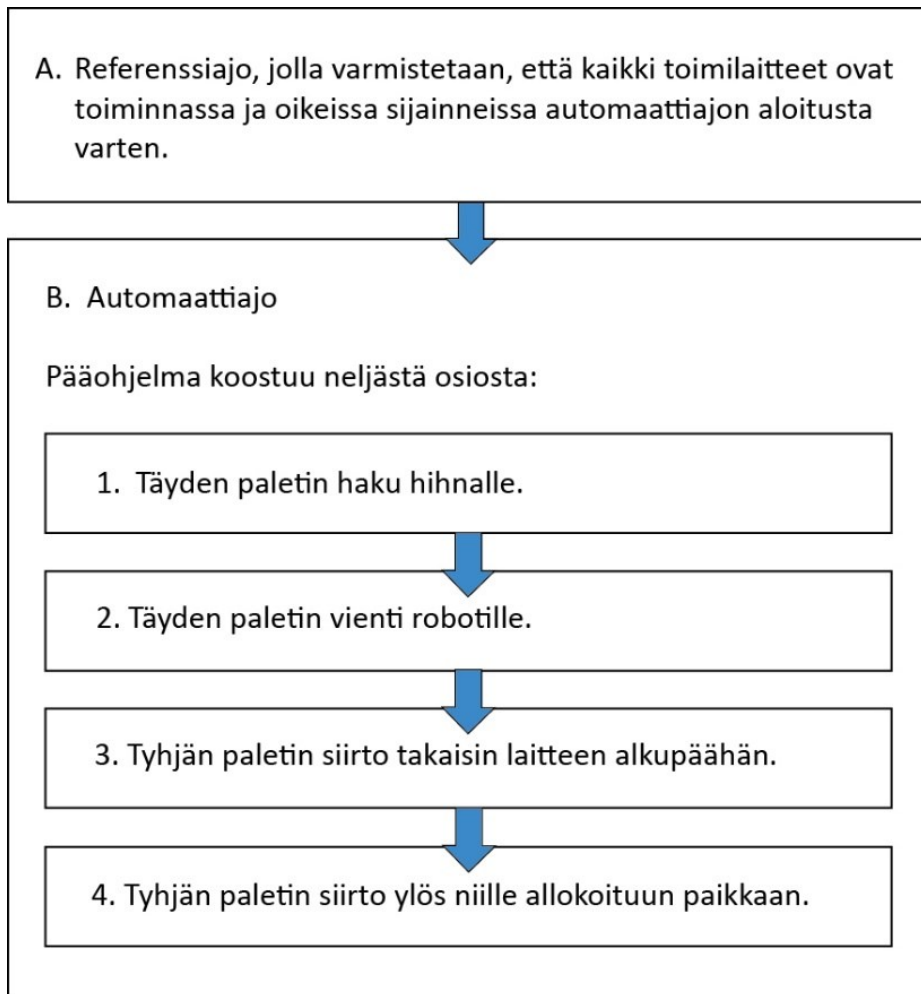
4.3 PLC:n ohjelmointi

Logiikan ohjelmointi toteutettiin Omron CX Programmer 9.6 -ohjelmistolla (kuvio 8). Aluksi ohjelmaan määriteltiin logiikan tulot ja lähdöt ja näille muuttujille määriteltiin nimet niiden käyttötarkoituksen mukaan, jotta ohjelman toimintaa olisi helpompi seurata.



Kuvio 8. Omron CX-Programmer.

Muuttujien määrittelyn jälkeen kokeiltiin pikaisesti eri anturien toimintaa logiikan kanssa. Näiden toiminnan toteutuksen jälkeen alettiin työstämään itse varsinaista ohjelmaa aikaisemmin laaditun alustavan suunnitelman mukaan. Kuviossa 9 esitellään ohjelman sisällön pääpiirteet.



Kuvio 9. Ohjelman osiot.

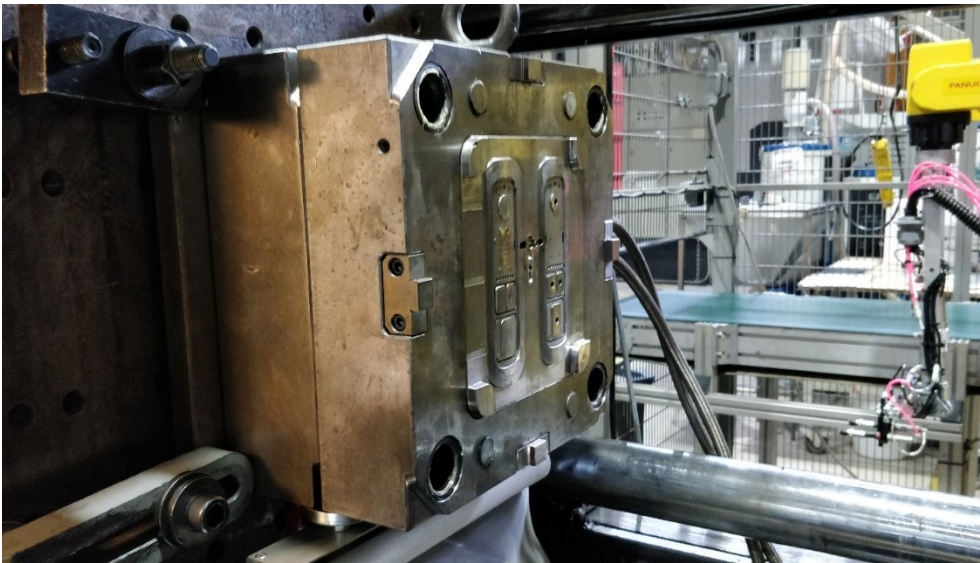
4.4 Suunnitellun laitteen toiminta ja 3D-malli

Suunniteltu automaatiolaitte toimii alla kuvatulla tavalla:

1. Työntekijä asettelee kappaleet paleteille, pinoaa paletit laitteen hyllykköön ja sulkee laitteen oven.
2. Laite hakee hyllyköstä paletin ja siirtää sen robotin ulottuville.
3. Robotti poimii paletilta kappaleen ja vie sen muottiin (kuva 11).
4. Muotti sulkeutuu ja ruiskuvaluprosessi alkaa.
5. Muottiin puristetaan muovia kappaleen päälle.

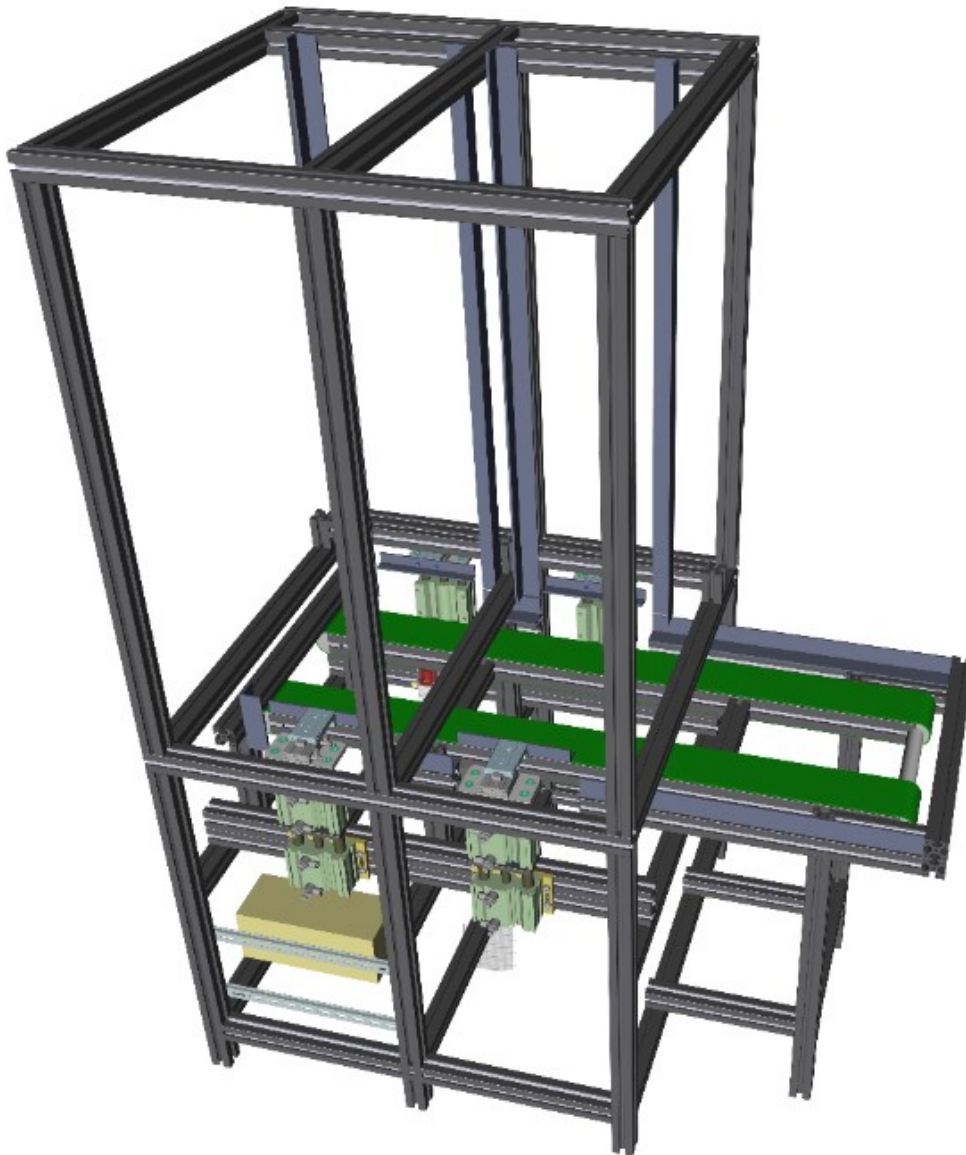
6. Kappaleen jäähtyttyä muotti avautuu ja robotti hakee valmiin tuotteen, joka viedään hihnalle, jossa se jäähtyy ja kulkeutuu laatikkoon.
7. Robotti käy tämän koko paletin läpi ja kun se on tyhjä, robotti antaa laitteelle signaalin, jonka jälkeen laite siirtää paletin laitteen sisällä olevaan tyhjien palettien hyllykköön ja vie aihioita täynnä olevan uuden paletin robotille.
8. Kun kaikki paletit ovat tyhjiä, voi työntekijä täyttää laitteen paletit uusilla aihioilla ja tämä prosessi toistuu uudelleen.

Tavoitteena oli vähintään yksi tunti toimintaa ilman, että työntekijän täytyy osallistua prosessiin, mutta tämänhetkisten laskelmien perusteella laite pystyy toimimaan ainakin 6 tuntia itsenäisesti, jos paletit toteutetaan nykyisen suunnitelman mukaisesti 10 millimetrin paksuisina ja kokonaiskorkeudeltaan 30 millimetrisinä. Näin ollen laitteeseen mahtuisi kerralla ainakin 360 painonappilevyä.



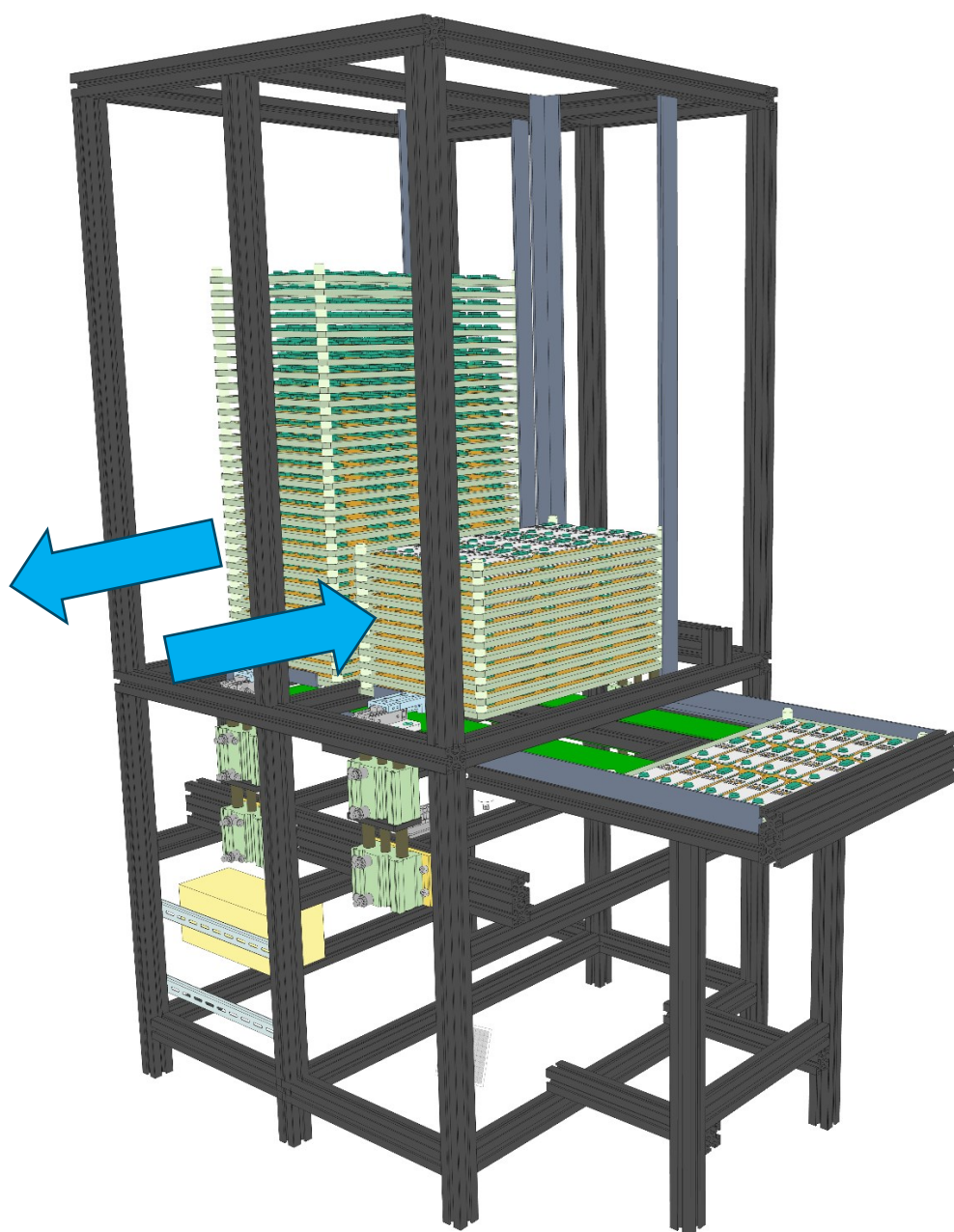
Kuva 11. Kuva muotista, jonne kappale viedään.

Kuviossa 10 esitetään suunniteltu automaatiolaitte. Rungon kehikon ympärille tulee myös muoviset suojalevyt, mutta nämä jätettiin tästä 3D-mallista pois paremman näkyvyyden vuoksi. Aivan kaikkia pienimpiä laitteen osia ei myöskään mallinnettu, sillä ne eivät ole laitteen pääasiallisen toiminnan kannalta oleellisia. 3D-mallin funktio on lähinnä varmentaa, että laitteen mekaaniset liikkeet ovat toteutettavissa ja auttaa hahmottamaan materiaalien ja tilan tarvetta.



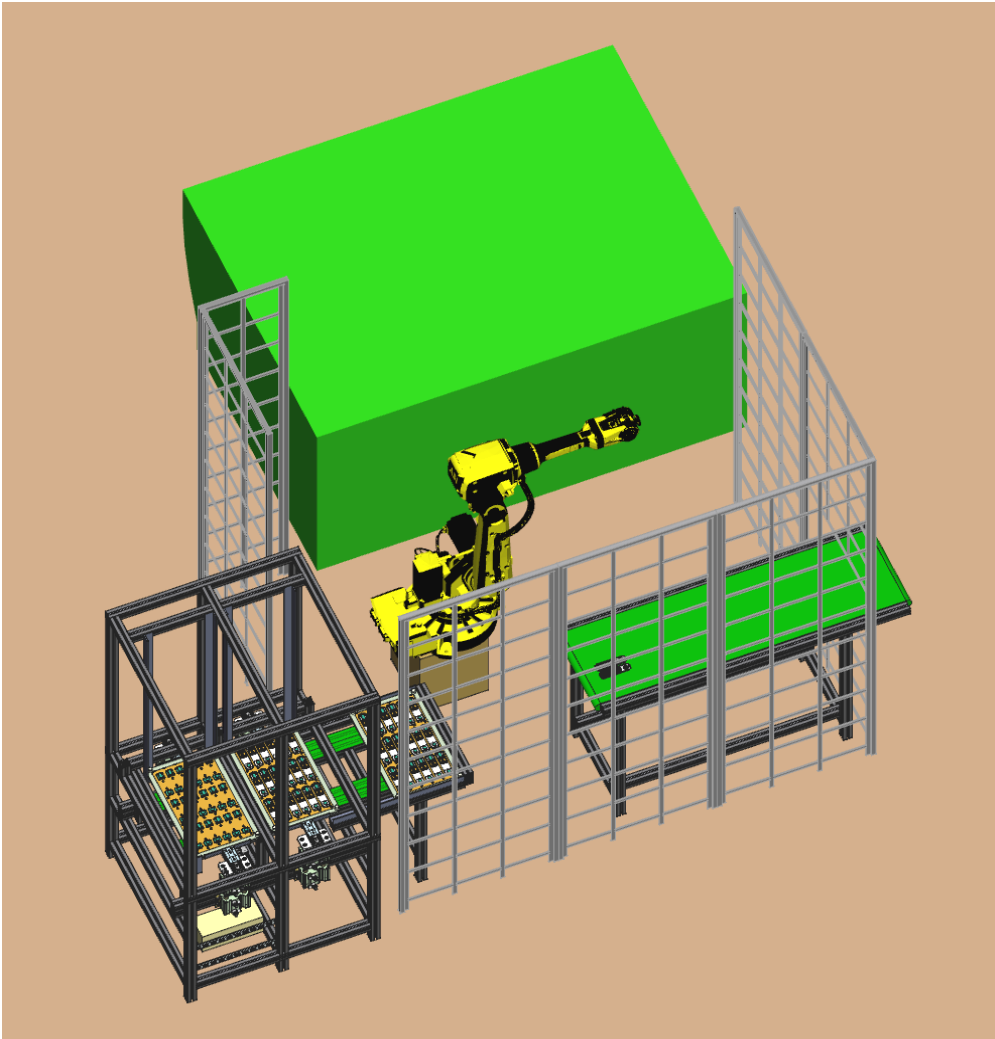
Kuvio 10. Suunniteltu automaatiolaite.

Kuviossa 11 näkyy suunniteltu automaatiolaite ja paletteja, joihin työntekijät asettelevat painonappilevyt. Paletit asetetaan laitteeseen sen sivupuolelta, mikä on myös havainnollistettu kuviossa 11 käyttäen nuolia.



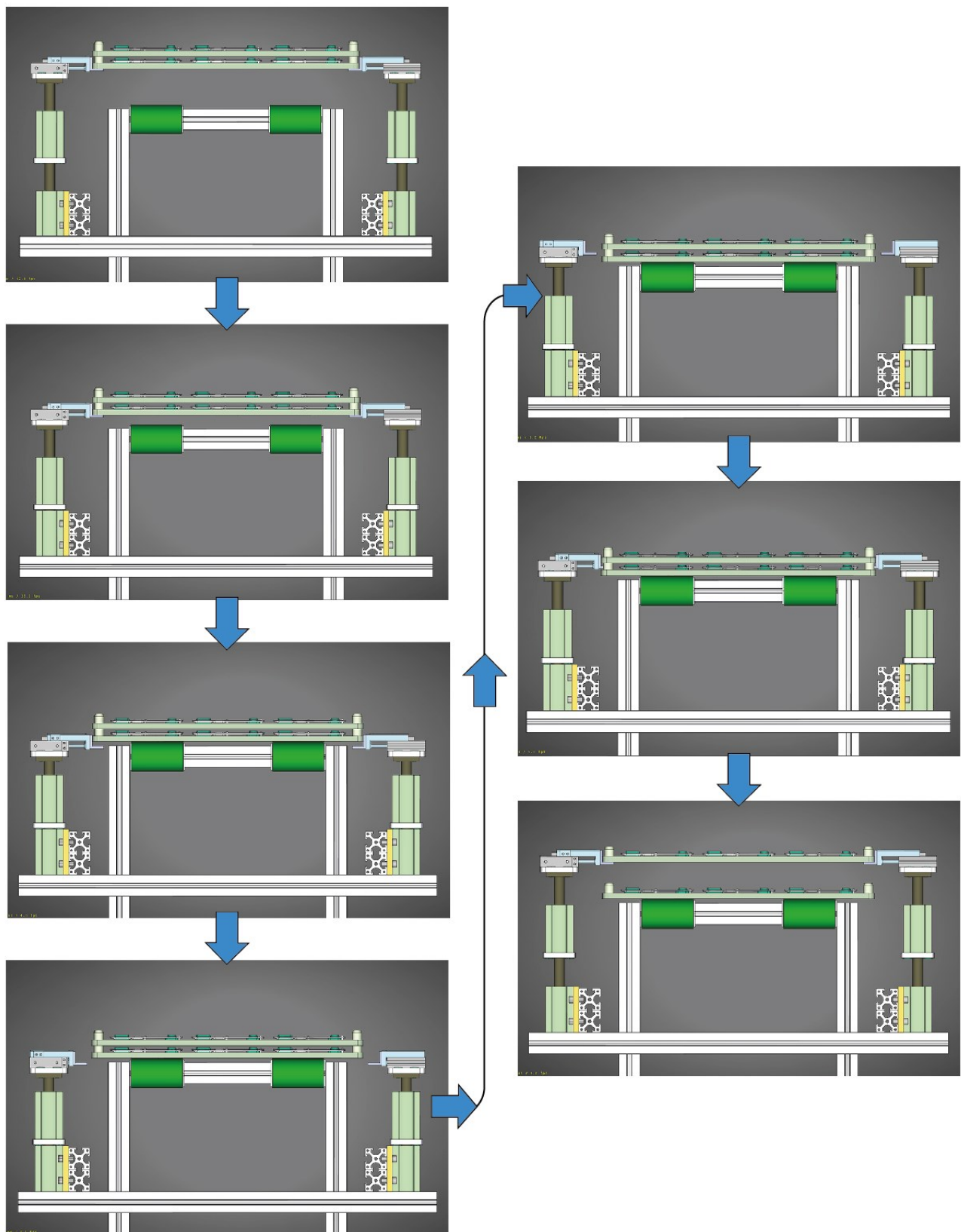
Kuvio 11. Automaatiolaite ja paletteja.

Kuvio 12 näyttää, mihin suunniteltu automaatiolaite sijoittuu robottisolussa.



Kuvio 12. Automaatiolaite robottisolun kanssa.

Kuvio 13 havainnollistaa laitteen sylinterien toimintaa, kun täysi paletti viedään hihnalle.



Kuvio 13. Sylinterien toimintaperiaate.

5 YHTEENVETO JA POHDINTA

Opinnäytetyön tuloksena saatiin mallinnettua 3D-malli pienautomaatilaitteesta, joka alustavien komponenttitestausten ja laskelmien perusteella tulisi toimimaan suunnitellusti.

Työn tavoitteet siis saavutettiin. Positiivista on myös se, että kaikki suunniteltavaan laitteeseen tarvittavat tärkeimmät komponentit löytyvät jo yrityksen varastolta, joten laitteen rakennuskustannukset tulevat olemaan matalat.

Alun perin ajatuksena oli myös rakentaa, testata ja käyttöönottaa laite opinnäytetyötä varten, mutta rakentamista ei ehditty suorittaa loppuun opinnäytetyön aikarajoitteiden vuoksi. Alumiiniprofiileista ehdittiin koota alustava testirunko sylinterien toimivuutta varten. Sylintereille mallinnettiin ja koneistettiin adapterit, joilla ne pystyttiin liittämään toisiinsa, ja sivuttaisliikkeisille MXS12-30-sylintereille tehtiin palettien pidikkeet raudasta sekä toiset versiot alumiinista. Omronin ohjelmoitavan logiikan ohjelmasta ehdittiin myös tekemään alustava testiversio, joka testikäytössä toimi. Tämä osio otti täysien palettien hyllystä yhden paletin ja nosti loput takaisin hyllyyn. Laitteen lopullinen koonti, testaus ja käyttöönotto suoritetaan tämän opinnäytetyön valmistumisen jälkeen. Koska tiettyjä toiminnallisuuksia ei aikarajoitteiden vuoksi voida varmistaa, ei laitteen absoluuttista toimintavarmuutta voi tässä kohtaa taata. On kumminkin hyvä, että tehtaalta löytyy paljon vaihtoehtoisia komponentteja, mikäli jokin osa laitteesta ei toimisi odotetulla tavalla.

Työ olisi ollut hyvä rajata vain automaatiolaitteen suunnitteluun jo alusta alkaen, sillä pelkästään suunnittelu on vaativa projekti, joka vaatii hyvin monipuolista tietotaitoa. Haastavaa oli pitäytyä vain yhdessä toteutustavassa, sillä keksin erilaisia ideoita ja vaihtoehtoja laitteen toteutusta varten runsaasti, ja alkuun aikaa kuluikin ehkä hieman liikaa erilaisiin vaihtoehtoihin perehtymiseen. Jos tekisin työn uudelleen, käyttäisin myös 3D-mallintamiseen tehokkaampaa ohjelmaa. Opin kuitenkin automaatiosuunnittelusta ja projektinhallinnasta rutkasti opinnäytetyön aikana, ja on hienoa, että suunnittelemani laite päätyy käyttöön tehtaalla.

LÄHTEET

- Acromag. (25.5.2009). *Introduction to Profibus-DP*. Automation.com.
<https://www.automation.com/en-us/articles/2009-1/introduction-to-profibus-dp>
- Ball, K. (2.8.2015). *The Dawn of the Programmable Logic Controller (PLC)*. Automation.com. <https://www.automation.com/en-us/articles/2015-2/the-dawn-of-the-programmable-logic-controller-plc>
- Bihl+Wiedemann. (i.a.). *AS-interface*. <https://www.bihl-wiedemann.de/fi/applications/as-interface>
- Bürkert. (i.a.). *AS-Interface: The fieldbus standard*. <https://www.burkert.com/en/service-support/knowledge-center/glossary/as-interface-the-fieldbus-standard>
- Embien. (i.a.). *Profibus protocol – Communication Profiles and Physical Layers*. <https://www.embien.com/industrial-insights/profibus-protocol-communication-profiles-and-physical-layers>
- Fairchild, M. (11.4.2024). *Types of industrial robots and their different uses*. HowToRobot. <https://howtorobot.com/expert-insight/industrial-robot-types-and-their-different-uses>
- Ferry. (29.12.2023). *What Is Profibus: A Comprehensive Guide to Understanding the Industrial Communication Protocol*. <https://www.deployferry.io/explain/profibus>
- FieldComm Group. (i.a.). *HART Technology Explained*. <https://www.fieldcommgroup.org/technologies/hart/hart-technology-explained>
- Fonselius, J., Pekkola, K., Selosmaa, S., Ström, M., & Välimaa, T. (1999). *Koneautomaatio: Automaatiolaitteet* (1.–2. painos). Oy Edita Ab.
- Järvinen, P. (2017). *Muovit ja muovituotteiden valmistus*.
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Lähetkangas, M., Sumujärvi, M., & Lähetkari, M. (2010). *Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat*. (1.–2. painos). WSOY Oppimateriaalit.
- Keinänen, T., & Sumujärvi, M. (2019). *Automaatiotekniikka*. Sanoma Pro Oy.
- Maanonen, M. (i.a.). *Automaatio ja automaatiojärjestelmät*. <https://valmistajat.fi/metodit/elektroniikka/automaatio-ja-automaatiojarjestelmat>
- MSK Group. (i.a.). *Ruiskuvalu*. <https://mskgroup.fi/fi/muoviosien-valmistus/ruiskuvalu/>

MSK Group. (4.5.2023). *Vastuullisuus on konkretiaa*. <https://mskgroup.fi/fi/vastuullisuus-on-konkretiaa/>

Parr, A. (1998). *Industrial Control Handbook*. (3. painos). Newnes.

Peterson, D. (2.3.2022). *The Origin Story of the PLC*. <https://control.com/technical-articles/the-origin-story-of-the-plc/>

Plant Automation Technology. (i.a). *Types of actuators*. <https://www.plantautomation-technology.com/articles/types-of-actuators>

Process Solutions. (i.a.). *What are the different types of industrial robots and their applications*. <https://processsolutions.com/what-are-the-different-types-of-industrial-robots-and-their-applications/>

Real Time Automation (RTA). (i.a.). *An Introduction to PROFIBUS*. <https://www.rtautomation.com/technologies/profibus/>

Schneider Electric. (i.a.). *Modicon is now Schneider Electric*. <https://www.se.com/uk/en/about-us/company-profile/brands/modicon.jsp>

Sufyan, M. (15.4.2024). *7 Types of Industrial Robots: Advantages, Disadvantages, Applications, and More*. Wevolver. <https://www.wevolver.com/article/types-of-robots>

Sundquist, M. (2008). *Teollisuusautomaation tiedonsiirtoliikenne: Turvaväylät*. Inspecta Koulutus.

Suomen Automaatioseura. (2005). *Automaatiosovellusten ohjelmistokehitys: Suunnittelun työtavat, välineet ja sovellusarkkitehtuurit*. Suomen Automaatioseura.

Wu, J. (2023). *Application Note: A Basic Guide to the HART Protocol*. Texas Instruments. <https://www.ti.com/lit/an/slaaeh0/slaaeh0.pdf>