



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Alexi Karvinen

Hyllystöhissin automaatio-ohjaus ja jatkokehitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tutkinto-ohjelman nimi

Insinööriyö

23.4.2021

Tekijä Otsikko	Aleksi Karvinen Hyllystöhissin automaatio-ohjaus ja jatkokehitys
Sivumäärä Aika	48 sivua + 4 liitettä 23.4.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Lehtori Antti Liljaniemi
<p>Tämä insinööryö tehtiin Little Garden -kaupunkikasvattamolle osana Digi-Salama-hanketta. Insinööryönä jatkettiin Little Gardenin hyllystöhissiprojektia. Hyllystöhissiä tarvitaan kerrosviljelylinjastolla kasvien automaattiseen siirtämiseen idätystasolta loppukasvatustasolle.</p> <p>Lähtökohtana insinööryölle toimi muiden opiskelijoiden aikaisemmin luomat dokumentit. Lähtötietoihin ja dokumentteihin kuului tarkka 3D-malli kerrosviljelylinjastosta, alustava suunnitelma hissien tarttujista, joilla kasvit poimitaan, sekä tarjouksia. Tarjouksiin kuului voimansiirtomekanismi ja tarttujan pneumatiikkaosia.</p> <p>Luodun tarttujan prototyypin osalta täytyi ensiksi jonkin verran jatkosuunnitella tarttujaa ja päivittää CAD-mallit levytyötä helpottavaan muotoon. Valmis prototyyppi osoitti teleskooppijohteiden tarpeellisuuden laitteessa ja myös, että tarttujaa voi parantaa entisestään vaihtamalla siihen nykyistä pidemmät teleskooppijohteet. Prototyypistä päätettiin myös, että tarttujan geometriaa kannattaisi yksinkertaistaa paremman valmistettavuuden vuoksi.</p> <p>Laitteiston 3D-malleja päivitettiin vastaamaan uusia suunnitelmia. Malleja selkeytettiin, niistä korvattiin kuvainnollisia osia todenmukaisilla sekä parannettiin kokonaisuuden valmistettavuutta. Tulokseksi saatiin todenmukainen pääkoonpano.</p> <p>Laitteistosta tehtiin liikesimulaatio, joka voidaan jatkokehittää digitaalseksi kaksosoksi. Tuloksena saatiin toimiva liikesimulaatio, joka vastaa mekaaniselta toimivuudeltaan suunniteltua laitteistoa.</p> <p>Sopivan ohjausjärjestelmän selvittelyyn liittyen tehtiin alustava ohjausohjelma. Tehdyllä ohjelmalla voi ohjata hyllystöhissin liikesimulaatiota kuten todellistakin hyllystöhissiä. Lisäksi selvitettiin, kuinka laitteistoa voisi ohjata lähtötietona saadulla moottorikäytöllä. Selvitystyön jälkeen tulokseksi saatiin kolme eri ohjausvaihtoehtoa, kontaktorihjaus, taajuusmuuttaja-ohjaus, sekä ohjainkorttiohjaus. Näistä kirjoitettiin vertailuja ja ohjainkorttiohjaukseen selvitettiin moottorikäyttö, johon sisältyy kaikki tarpeelliset laitteet.</p>	
Avainsanat	Mekaaninen suunnittelu, Digital Twin, PLC-ohjelmointi

Author Title	Aleksi Karvinen Automation Control and Development of a Lifting System
Number of Pages Date	48 pages + 4 appendices 23 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Antti Liljaniemi, Senior Lecturer
<p>The thesis was commissioned by a vertical farming company, Little Garden. This thesis is part of Little Garden's plant lifting system project. The purpose of the lifting system is to lift plants automatically from the germination level to cultivation levels.</p> <p>As initial data of the project, the documents created by students in previous projects were used, such as the 3D model of the vertical farming line, the concept of a pickup device and offers of pneumatic and mechanical products.</p> <p>The pickup device required further design, and therefore the pickup device's 3D models were updated into sheet metal design forms. The finished prototype of the pickup device proved that there is a need for telescopic guides in the device. It was also discovered that the pickup device can be further improved by replacing the existing guides with longer telescopic guides. Based on the prototype, it was found out that the geometry of the pickup device should be simplified for better manufacturability.</p> <p>The 3D models of the device were updated to match the new plans. The main assembly models were enhanced by replacing some inaccurate parts with improved parts. These changes lead to better manufacturability.</p> <p>A motion simulation model of the operation of the device was created that can be further developed into a digital twin. The result was a functional motion simulation which corresponds to the hardware and its mechanical functionality.</p> <p>As a result, a preliminary control program was made as part of the control system's clearing process. The preliminary control program can control the motion simulation of the hardware in the same way as the physical lifting system. In addition, it had to be clarified how the initial motor will be controlled. After this, three different control options were obtained, i. e. the contactor control, frequency converter control, and drive control. Comparisons of these options were made, and a suitable motor with all the necessary products was determined for the drive controller.</p>	
Keywords	Mechanical Design, Digital twin, PLC programming.

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Asiakkaan taustaa ja asiakkaan tarpeet	3
2.1	Kerrosviljely	3
2.2	Little Gardenin käyttämä laitteisto	4
2.3	Hyllystöhissin merkitys asiakkaalle	5
3	Projektin lähtökohta	6
4	Prototyypin valmistusmenetelmien teoriaa	8
4.1	Levytyöt	8
4.1.1	Laserleikkaus	8
4.2	3D-tulostus	9
5	Projektin automaatioteknologiat	10
5.1	Digitaalinen kaksonen (DT)	10
5.2	Digitaalisen kaksonen rakentaminen logiikkaohjelman testaukseen	11
5.3	Logiikkaohjelmointi	11
5.3.1	CODESYS	12
5.3.2	Sekvenssikaavio	12
5.3.3	Strukturoitu teksti (ST)	14
6	Prototyypin valmistus	16
6.1	Jatkosuunnittelu ja valmistusvaiheet	16
6.1.1	Jatkosuunnittelu	16
6.1.2	Laserleikkaus	20
6.1.3	Särmäyspuristus	20
6.1.4	3D-tulostus	21
6.1.5	Hitsaus	21
6.2	Lopputulokset	22

7	Hyllystöhissin 3D-mallin muutokset	23
7.1	Nostin	23
7.2	Poikkipalkki	26
8	Digitaalisen kaksosen luominen hyllystöhissistä	29
8.1.1	Digitaalisen kaksosen rakentaminen NX:llä	29
8.2	Ohjausohjelma	30
8.2.1	Ohjelman rakenne	30
8.2.2	Muuttajat ja anturit	31
8.2.3	Ohjausohjelman jatkokehitys	32
9	Hyllystöhissin ohjaus	34
9.1	Käyttöliittymä	34
9.2	Lähtökohtainen ohjausperiaate	35
9.3	Ohjausperiaatteen kehitysvaihtoehdot	36
9.3.1	Movetecin uusi moottoritarjous	37
9.3.2	Servomoottorin käyttöönotto	38
9.4	Moottori käytönvalinta	39
9.5	Logiikkavertailu	39
9.5.1	Yhteensopivuus CODESYSin kanssa	40
9.5.2	Valinnan tekeminen	41
10	Yhteenveto	43
10.1	Yhteenveto tarttujaprototyypin osalta	43
10.2	Yhteenveto 3D-suunnitelmista, simulaatiosta ja alustavasta ohjausohjelmasta	44
10.3	Ohjausjärjestelmän selvitystyön yhteenveto	44
	Lähteet	46
	Liitteet	
	Liite 1. Poikkipalkin osaluettelo	
	Liite 2. Tarttujan osaluettelo	
	Liite 3. Pääohjelman sekvenssin selityskuva	
	Liite 4. Robbes Lilla Trädgård Ab:n kerrosviljelylinjasto	

Lyhenteet

DT	Digital Twin eli digitaalinen kaksonen, tarkka virtuaalinen kopio fyysistä laitteistosta/laitteesta tai jonkinlaisesta prosessista. Digikaksonen kerää jatkuvasti dataa todelliselta versioltaan ja sen perusteella raportoi toiminnastaan. Digikaksoella voidaan tarkastella esimerkiksi laitteen tai laitteiston elinkaarta, dynamiikkaa, käyttöönottoa ja useita muita ominaisuuksia.
MCD	Mechanical Concept Designer Siemens NX:n ominaisuus, jolla laitteen dynaamiset ominaisuudet määritellään DT-simulaatiota varten.
RB	Rigid Body eli jäykkärunko, NX:n työkalu, jolla määritetään samansuuntaisesti ja samanaikaisesti liikkuvat osat yksittäisenä osana liikkuvaksi kappaleeksi, jonka painopiste on siihen liitettyjen osien yhteenlaskettu painopiste.
CB	Collosion Body, eli törmäysrunko, NX:n työkalu, jolla määritetään törmäyspinnat niihin pintoihin, joiden välinen kosketus on merkittävä muuttuja simulaation kannalta. Esimerkiksi jos hissi nostaa henkilöä, hissin lattia ja henkilön kengänpohjat määriteltäisiin collosion bodyiksi.
SFC	Sequential Function Chart, Sekvenssikaavio-niminen ohjelmointikieli.
PLC	Programmable Logic Controller, ohjelmoitava logiikka.
CODESYS	Controlled Development Systems, prosessinohjaus- ja kehitysympäristö.

1 Johdanto

Tämä insinööriö tehtiin Little Garden -kaupunkikasvattamolle osana Digi-Salama-hanketta. Työllä oli kolme päätavoitetta: Yksi päätavoitteista oli hyllystöhissin 3D-valmistussuunnitelmien jatkaminen ja hyllystöhissin liikkeiden simulointi. Kaksi muuta tavoitetta olivat prototyypin rakentaminen hyllystöhissin osasta sekä sopivan ohjausjärjestelmän alustava selvittely.

3D-valmistussuunnitelmien jatkamisella oli tarkoitus luoda selkeä dokumentaatio siitä, kuinka laitteisto tullaan valmistamaan. Liikkeiden simuloimisella oli tarkoitus esittää laitteen toimivuutta ja tukea valmistusvaihetta. Lisäksi tietokonesimulaatio toimi alustavan ohjausohjelman testialustana.

Sopivan ohjausjärjestelmän selvittelyn tarkoituksena oli kehittää suunnitelma siitä, kuinka hyllystöhissiä tullaan todellisuudessa ohjaamaan.

Valmistetun prototyypin ja sen valmistusvaiheen tarkoitus oli antaa tuotekehitysideoita jatkosuunnittelua varten ja osoittaa tehtyjä ratkaisuja toimiviksi tai puutteellisiksi.

Sopivan ohjausjärjestelmän selvittelyn tarkoituksena oli pohtia sopivaa anturointia ja moottorinohjaustapaa. Selvittelyyn kuului myös alustava ohjausohjelma, jolla voi ohjata hyllystöhissin digikaksosta kuten todellistakin hyllystöhissiä.

Työn taustalla vaikutti kerrosviljely, sillä Little Garden on kerrosviljelyä harjoittava yritys. Kerrosviljely on viljelymenetelmä, jossa kasveja viljellään useassa kerroksessa. Menetelmällä pyritään säästämään erityisesti tilankäytössä ja energiankulutuksessa. Kasveja kasvatetaan hyllystöissä tai torneissa, joissa niitä voidaan kastella ja ravita automaattisesti. Näin saadaan yhteen kasvihuoneeseen mahdollisimman paljon kasveja ja säästetään maavuokrassa. Toisin sanoen usean kasvihuoneen tuotantomäärä voidaan tuottaa yhdessä kasvihuoneessa. (Kovanen 2018: 18.) Kerrosviljely on tehokkaan tilankäytön vuoksi suosittua erityisesti kaupunkiviljelyssä (Little Garden: 1).

Jokainen tavoite käsitellään tässä työssä yksitellen. Luvussa 3 käydään läpi projektin lähtötiedot. Prototyypin valmistuksesta ja siitä tehdyistä tuotekehitysanalyyseistä kerrotaan luvussa 6. Luku 7 käsittelee 3D-suunnitelmien jatkokehitystä. Liikkeiden simulointia käsitellään luvussa 8 ja ohjausjärjestelmää luvussa 9. Ensimmäiset luvut 4–5 esittelevät projektiin liittyvää teoriaa.

2 Asiakkaan taustaa ja asiakkaan tarpeet

2.1 Kerrosviljely

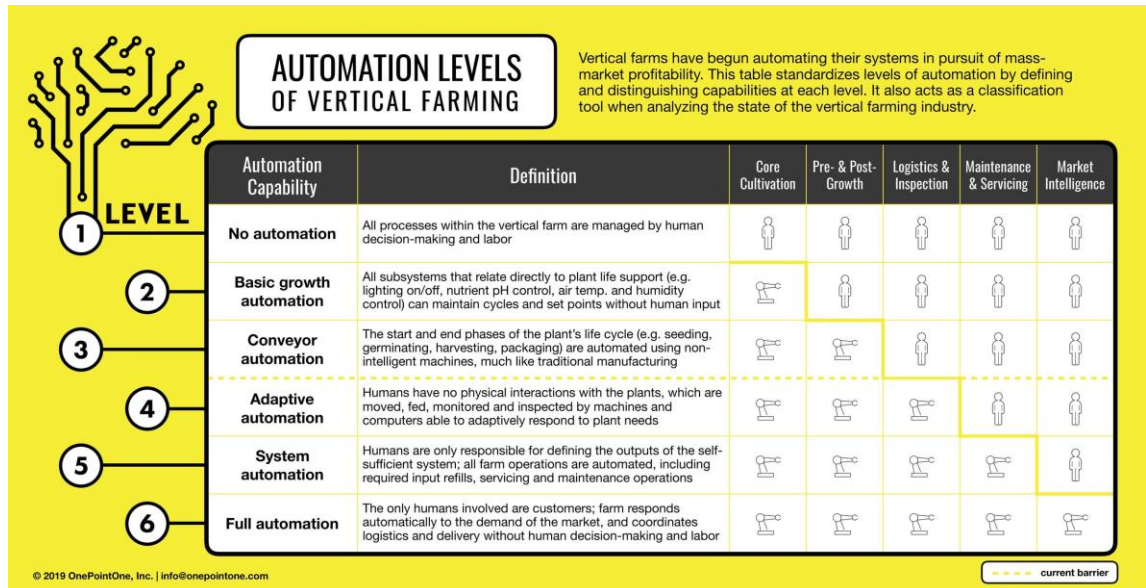
Little Garden oli tämän insinööriyön asiakasyritys. Sillä on Metropolian Myyrmäen-kampuksella kerrosviljelylinjasto, joka tuottaa lähiruuaksi lehtivihanneksia. Yritys tarjosi hyllystöhissin kehitysprojektia yhdessä Digi-Salama-hankkeen kanssa. Hyllystöhissiä Little Garden tarvitsee kahdeksankerroksista linjastoaan varten, jotta kasvatusalustat saadaan siirrettyä nopeasti, turvallisesti ja edullisesti idätystasolta ylemmille kasvatustasoille. Little Gardeniin ja sen tuotteisiin sekä niiden saatavuuteen voi tutustua tarkemmin osoitteessa littlegarden.fi.

Insinööriyön aikana tutustuttiin kahden yrityksen kerrosviljelykasvattamoihin, Little Gardenin Myyrmäen-kaupunkikasvattamoon ja Robbes Lilla Trädgård Ab:n suuremman mitatakaan kasvattamoon Lindkoskella. Kuva 1 on otettu Little Gardenin kasvattamosta tätä insinööriyötä varten. Kuvasta nähdään automatisoituja LED-valoja, jotka on optimoitu säteilemään juuri niitä aallonpituuksia, joita kasvit tarvitsevat kasvaakseen (Kovonen 2018: 20). Robbes Lilla Trädgård Ab:n viljelylinjastoa voi katsella liitteestä 4. Liitteestä hahmottuu myös viljelylinjaston pituus; viljelyalustalla kestää kaksi kuukautta kulkea tämän linjaston läpi, ja sinä aikana kasvi kasvaa taimesta syömäkelpoiseksi (Jordas 2020: 1).



Kuva 1. Little Gardenin kerrosviljelylinjasto Myyrmäen kampuksella.

Jotta tulevaisuudessa kerrosviljelyllä saataisiin katettua merkittävä osa ruuantuotannosta, täytyy kerrosviljelijöiden kehittää automaatioastettaan. Suurin osa kuluttajista ostaa ruokaa hinnan perusteella. Siksi tarvitaan automaatiota, jotta kerrosviljelijät voisivat kilpailla hinnoista ja pitää liiketoimintansa taloudellisesti kannattavana. Alla olevassa kuvassa esitellään eri automaatioasteita kerrosviljelyssä. (Bertram 2019: 1.)



Kuva 2. Automaatiotasot kerrosviljelyssä (Bertram 2019).

Kolmannella tasolla taloudellinen kannattavuus paranee huomattavasti, kun koneet hoitavat kasvatustyöt kokonaan. Kolmannella tasolla tarvittavia laitteita ovat mm. automaattiset hyllystöhissit. Vasta neljännellä tasolla voidaan kuitenkin vasta puhua mahdollisuudesta ruokkia suurta ihmismäärää. (Bertram 2019: 1.)

2.2 Little Gardenin käyttämä laitteisto

Little Gardenilla on käytössään 8-kerroksinen kerrosviljelylinjasto, johon kuuluu kastelu-järjestelmä, optimoidut LED-valot ja pneumaattinen kasvatusalustojen kuljetusjärjestelmä. Kuljetusjärjestelmä kuljettaa kasvatusalustoja idätys- ja loppuviljelytasojen läpi prosessien vaatimassa ajassa.

Little Gardenilla ei vielä ole hyllystöhissiä, jolla kasvatusalustoja voisi nostaa idätystasolta loppuviljelytasolle. Hyllystöhissi mahdollistaisi sen, ettei työntekijöiden tarvitse koskea kasvatusalustoihin istutuksen ja sadonkorjuun välisenä aikana. Tällä hetkellä kasvatusalustat nostetaan ihmisvoimin idätystasolta loppuviljelytasolle.

2.3 Hyllystöhissin merkitys asiakkaalle

Hyllystöhissi on automatisoitu laitteisto, jonka tarkoituksena on siirrellä tavaraa ilman varastohenkilökuntaa lukuun ottamatta mahdollisesti hissien ohjaajaa, jos kyseessä ei ole täysin automaattinen hissi. Hyllystöhissiä voidaan hyödyntää ahtailla varastokäytävillä, joihin trukilla ei pääse. Varastohyllyjen korkeuskaan ei hyllystöhisseille ole rajoittava tekijä toisin kuin trukeille. (Buddas 2019: 1.)

Little Gardenin johtaja Jaakko Lehtonen totesi hyllystöhissin tarpeellisuudesta seuraavaa:

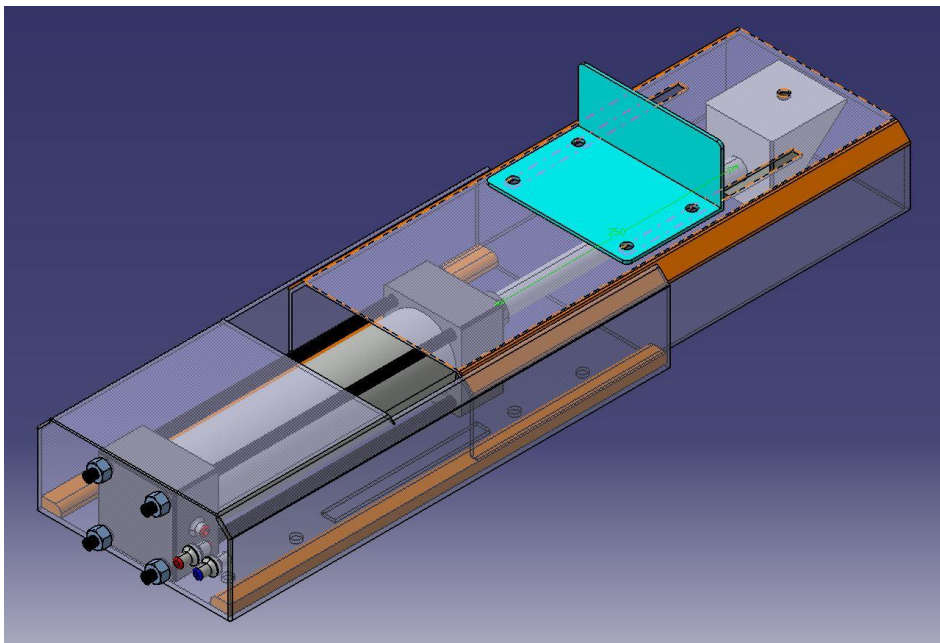
Urbanissa kerrosviljelyssä hyllystöhissi tehostaa tilankäyttöä, helpottaa työskentelyä ja siten vähentää merkittävästi sekä tila- että työkustannuksia. Mikäli automaation investoinnit ja ylläpitokustannukset pysyvät kohtuullisina, voi se tehdä tuotannosta huomattavasti kannattavampaa. (Lehtonen 2021: 1.)

Useilla saman alantoimijoilla on jo käytössään hyllystöhissejä, kuten Robbes Lilla Trädgård Ab:lla (Jordas 2020: 1).

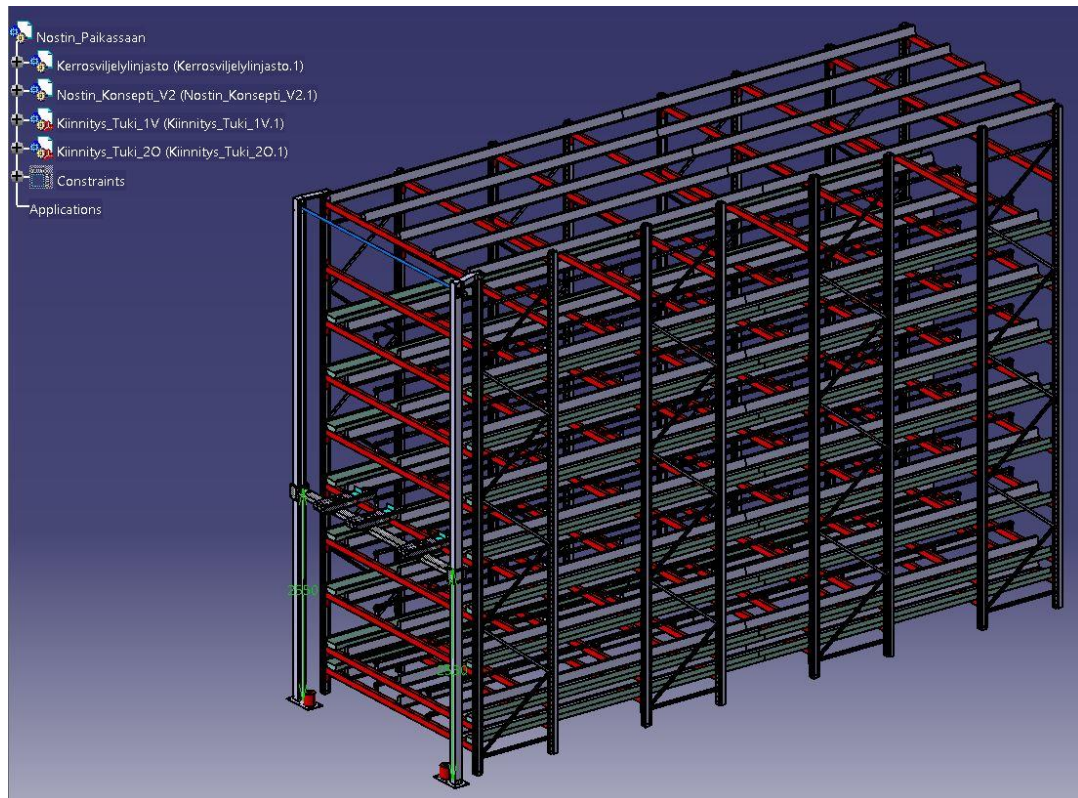
3 Projektin lähtökohta

Kun insinöörityö alkoi tarttuprojektin valmistamisella toukokuussa 2020, oli edellinen Metropolian työryhmä työskennellyt hyllystöhissiprojektin parissa koko lukuvuoden 2019–2020. Projektin päätyttyä edellisen työryhmän osalta saatiin kaikki hyllystöhissin dokumentit ja 3D-mallit lähtötiedoiksi hyllystöhissiprojektin jatkamista varten.

Edellinen työryhmä oli tehnyt Catia-CAD-ohjelmalla yksityiskohtaisen mallin Little Gardenin kerrosviljelylaitteesta. Lähtötietona saatiin myös alustava 3D-malli hyllystöhissin pneumaattisesta tarttujasta, jolla kasvatusalustat poimitaan hissien kyytiin. Kuvasta 3 nähdään lähtökohtainen versio hyllystöhissin tarttujasta. Niin kuin kuvasta 4 nähdään, kokoonpanomalli oli koottu kerrosviljelylaitteesta ja nostinkonseptista. Tämä malli koostui pneumaattisesta tarttujasta ja nostolaitteesta. Nostinkonseptin nostinosat olivat itse mallinnettuja kuvainnollisia osia eikä todenmukaisia alihankkijalta tilattavia nostinkonseptin osia.



Kuva 3. Edellisen työryhmän versio pneumaattisesta tarttujasta.



Kuva 4. Nostinkonsepti ja kerrosviljelylinjasto.

Tarjouspyyntöjä oli tehty Festolle ja Movetecille. Festo tarjosi tarttujan pneumaattisia osia, ja Movetecilta saatu tarjous sisälsi hyllystöhissin nostinkonseptin, johon kuuluu moottori, vaihde, lineaarijohteet ja momentin välityksaksi.

Edellisen työryhmän päätavoite oli luoda 3D-malli ja liikesimulaatio hyllystöhissistä. Se sai tuotua 3D-mallit Siemens NX -ohjelmaan, jossa liikesimulaatio voitiin toteuttaa Mechanical Concept Designer -ominaisuudella. Liikkuvat massat, osien väliset liitokset, törmäyspinnat ja muut simulaation kannalta oleelliset muuttujat määritettiin ja simulaatiota ohjattiin Sequense editorilla. Varsinaista logiikkaohjelmaa, jolla voisi ohjata myös todellista laitetta, ei ollut vielä aloitettu. Lisäksi hyllystöhissin ohjausperiaate oli jatkokehityksen tarpeessa, eli moottorin ohjausta täytyi jatkosuunnitella. vielä ei ollut tarkalleen päätetty, millä laitteella nostinkonseptiin suunniteltua 3-vaihemoottoria ohjataan.

4 Prototyypin valmistusmenetelmien teoriaa

4.1 Levytyöt

Levytyö on edullinen valmistustapa, koska sen materiaalihukka on esimerkiksi koneistamiseen verrattuna pientä. Erityisesti laatikkomaiset rakenteet on järkevää valmistaa levytyönä, sillä lämpöleikkausta ja särmäystä yhdistelemällä on helppoa ja edullista valmistaa laatikkomaisia rakenteita. Lämpöleikkauksella levyihin työstetään suunnitellut piirteet kuten asennusreiät. Lämpöleikkaus on yleisnimi kaikille lämpöön perustuville leikkausmenetelmille, täten se pitää sisällään esimerkiksi plasma ja laserleikkauksen. (Piironen 2013: 17.) Särmäys suoritetaan lämpöleikkauksen jälkeen, ja sen tehtävä on antaa kappaleelle lopullinen muoto taivuttamalla levyn reunoja suunnitelmien mukaan. Levytöiden suunnittelussa on tärkeää perehtyä särmäyspuristuksen sääntöihin, jottei tule taitaneeksi paikoista, joissa materiaali voi murtua; tällaisia paikkoja on kappaleen reunoilla ja lähellä leikattuja reikiä. Myös liian terävät taitoskulmat voivat aiheuttaa murtumia. (Piironen 2013: 37.)

4.1.1 Laserleikkaus

Laserleikkaus on teollisuudessa käytetty työstömenetelmä. Laserleikkaus vaikuttaa maallikon silmin plasmaleikkaukselta, mutta laserin leikkaavuus perustuu lasersäteiden kohdistamiseen linseillä polttopisteeksi. Polttopisteessä energiatiheys nousee niin suureksi (yli 10^5 W/mm², että se sulattaa tai höyrystää työstettävän materiaalin tarkasti ja siististi. Laserleikkuri puhalttaa sulaneen/höyrystyneen materiaalin pois leikkausalueelta. (Laserleikkaus: 1.)

Leikkauskaasun tehtävä laserleikkauksessa on tehostaa leikkausta. Erityisesti niukkaseosteisia ja hiiliteräksiä leikatessa leikkauskaasuna käytetään happea, joka saa osan materiaalista palamaan. Täten leikkaus tehostuu, kun mukaan saadaan perinteisen polttoleikkauksen tyyppinen lämpöleikkaantumien. Lisäksi happi aiheuttaa hapettumista, joka pienentää leikkaussulan viskositeettia ja pintajännitystä, jolloin sula poistuu helpommin leikkaurailosta. Leikkauksen jälkeen usein kuitenkin täytyy siistiä railon reunat, koska niihin jää nauhamainen oksidikerros, joka voi aiheuttaa esimerkiksi haavan sormeen tai maalauksen jälkeen paljastaa raakapinnan. (Laserleikkaus: 1.)

4.2 3D-tulostus

3D-tulostus on ainetta lisäävä valmistusmenetelmä, jolla valmistetaan yleensä muovisia tai metallisia kappaleita, mutta myös esimerkiksi betonin tulostaminen on mahdollista (Ramirez 2018: 1). 3D-tulostaminen on erittäin tarkkaa, mutta hidasta, joten yleensä sitä ei käytetä massatuotannossa, mutta kriittisten tai yksittäisten osien valmistamiseen 3D-tulostaminen on mainio menetelmä (Laaksonen 2019: 1). 3D-tulostin lisää ainetta kerros kerrokselta ja antaa muotoilulle lähes rajattomat mahdollisuudet. Muotoilussa on kuitenkin otettava huomioon, että tulostin ei voi lisätä ainetta tyhjän päälle.

5 Projektin automaatioteknologiat

5.1 Digitaalinen kaksonen (DT)

Digitaalinen kaksonen on linkki todellisen ja virtuaalisen maailman välillä, digitaalinen kaksonen on siis laitteen tai laitteiston virtuaalinen malli. DT voi simuloida valmistettavaa tuotetta esimerkiksi ajoneuvoa tai vaikka viljely-ympäristöä, josta DT tarkastelee kasvuolosuhteisiin vaikuttavia tekijöitä. DT voi myös simuloida koneistoa, jota täytyy valvoa etänä, esimerkiksi tuuliturbiinia keskellä merta.

Digitaalinen kaksonen alkoi kehittyä avaruusteknologian mukana kylmän sodan aikana. Nasa pohti tuolloin, kuinka voisi operoida, huoltaa tai korjata laitteita, jotka ovat ulko-varuudessa ihmisen ulottumattomissa. Kun Apollo 13 -lento sai katastrofaalisen kään-teen, pystyivät Nasan insinöörit aluksen fyysisten kopioiden ansiosta tekemään oikeita päätöksiä tilanteen pelastamiseksi. (Bernard 2017: 1.)

Digitaalista kaksosta voidaan soveltaa hyvin monella alalla hyvin moneen tarkoitukseen, minkä takia se tarkoittaa eri toimijoille eri asioita. Tässä muutamia esimerkkejä digitaali-sen kaksosen käyttötarkoituksista:

- tuotteen elinkaaren valvonta
- ympäristö olosuhteiden valvonta
- käyttöönoton simuloiminen
- laitteen virtuaalinen testaaminen.

Ympäristön olosuhteiden valvontaa voidaan hyödyntää kerrosviljelyssä. Tällöin digitaali-nen kaksonen valvoo kasvuolosuhteita ja kykenee säätelemään esimerkiksi kosteutta, valoa ja lämpötilaa. Tätä varten tietokoneelle pitää mallintaa kasvatusympäristöä ja lait-teistoa vastaava kaksonen, jolle määritellään kaikki merkittävät muuttujat. Todellista kas-vatustilaa valvotaan antureilla, jotka ovat yhteydessä kaksoseen. (Barata ym. 2018: 237.)

5.2 Digitaalisen kaksosen rakentaminen logiikkaohjelman testaukseen

Logiikkaohjelman testaukseen tarkoitetun DT:n rakentaminen aloitetaan antamalla fyysisiä ominaisuuksia laitteiston osille. Toisissaan kiinniolevat samansuuntaisesti liikkuvat osat määritellään jäykiksi rungoiksi (riggid body, RB). Samoin myös rakenteet, joiden suhteen osat liikkuvat, määritetään RB-rungoiksi. Törmätessään RB-rungot läpäisevät toisensa siitä minkäänlaista dataa antamatta, joten simulaation kannalta merkittävät kosketuspinnat tulee määritellä erikseen törmäyspinnoiksi (collosion body, CB). Jos simulaatiosta halutaan lukea kosketusdataa, niin tarkastelun kohde määritellään törmäyssensoriksi (Collosion sensor, CS). RB-runkojen liikkuminen toistensa suhteen määritellään todellisuutta vastaavien liitosten mukaan.

Kun liitokset on tehty todellisuutta vastaaviksi nivelyökalulla, voidaan niihin määritellä paikka- ja nopeussignaaleja, joilla päästään ohjaamaan laitteen liikkeitä. Simulaatioon luodaan signaaleja, koska ne toimivat yhtymälinkkinä ohjausohjelmaan ja näin mahdollistavat simulaation ohjaamisen. Signaalien luomiseen käytetään Siemens NX:ssä signal adapter -työkalua. Signal adapterissa simulaatiossa luoduille liitoksille voidaan luoda edellä mainittuja ohjaussignaaleja ja näille voidaan kirjoittaa if-lauseilla logiikka, jonka mukaan ne toimivat. Esimerkiksi nopeussignaalin nopeus voi olla positiivinen ehdon 1 ollessa tosi, negatiivinen ehdon 2 ollessa tosi ja muuten nolla eli paikoillaan. Lisäksi signal adapterissa voidaan määritellä output-signaaleja, jotka eivät ole muuttujina itse simulaatiossa vaan ohjausohjelmassa. Näillä signaaleilla on suuri merkitys, kun kirjoitetaan edellä mainittuja if-lauseita.

Signaalit linkitetään ohjausohjelmaan signal mapping -työkalulla, jossa ohjausohjelman ja simulaation toisiaan vastaavat muuttujat linkitetään yhteen. Ohjauslogiikan tulee olla esimerkiksi Ethernet-yhteydessä simulaatiotietokoneeseen.

5.3 Logiikkaohjelmointi

Logiikka- eli PLC-ohjelmointi on tärkeä osa automatisointia. Logiikoihin tehdään ohjausohjelmat, joilla ohjataan automaatiota, eli ohjelmoitava logiikka on automaatiokokonaisuuden "aivot".

Tämä luku kertoo projektissa käytetyistä ohjelmointimuodoista ja CODESYSillä ohjelmoinnista.

5.3.1 CODESYS

CODESYS (Controller Development System) on monipuolinen ohjelmointityökalu ja samalla laitteistoriippumaton IEC 61131-3 -standardin mukainen ohjelmointiympäristö automaatio-, logiikka- ja liikkeenohjaussovelluksiin.

CODESYSillä pystytään käyttämään monissa eri valmistajien logiikoissa, ja sillä voidaan yhdistää myös eri valmistajien toimilaitteet, väylät ja automaatiojärjestelmät toimimaan samassa rajapinnassa. CODESYSillä voidaan kirjoittaa ohjelmia esimerkiksi PLC-logiikoihin, kaikilla standardin IEC 61131-3 mukaisilla logiikka editoreilla ja SFC-editorilla. (Fearon 2016: 3.)

5.3.2 Sekvenssikaavio

SFC-ohjelmointikieli soveltuu sekvenssi tyyppisten ohjelmien kirjoittamiseen esimerkiksi hissien liikeratojen ohjelmoimiseen. Tällä muodolla luodaan yleensä ohjelmanrunko, eli jäsenellään toimenpiteiden tapahtumajärjestys. Tämän jälkeen varsinainen ohjaus tehdään yksinkertaisilla siirtymäehdoilla tai tehdään aliohjelma toisella ohjelmointimuodolla. (Omron 2009: 10.)

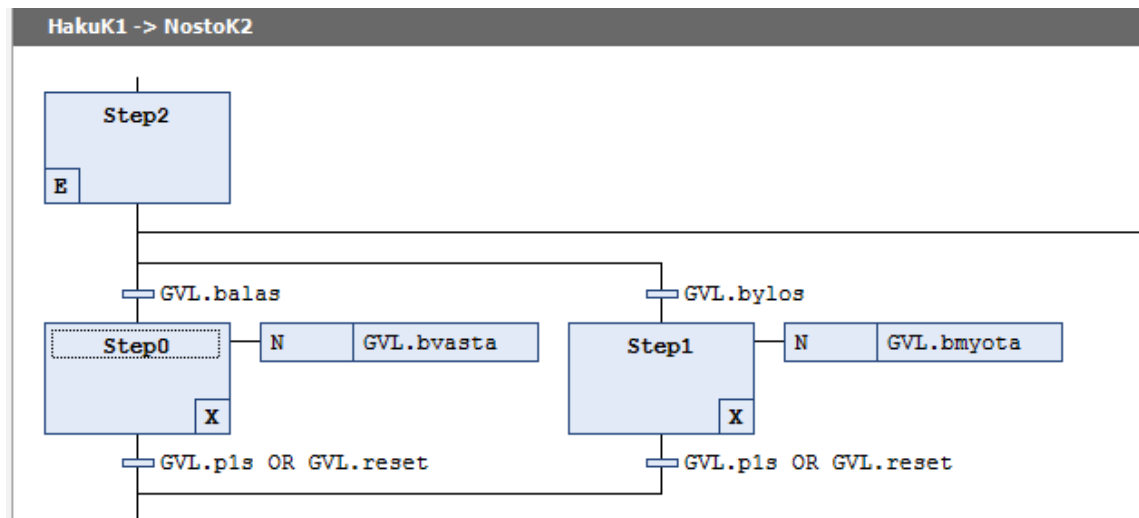
CODESYS käyttää seuraavia termejä SFC-ohjelmoinnissa: (Programming the Sequential Function Chart (SFC): 1.)

- Step eli askel. Askelmiin sisällytetään halutut toiminnot, ja niihin voidaan upottaa omia aliohjelmia.
- Transition eli siirtymäehto. CODESYS vaatii, että jokaisen askeleen välissä on siirtymäehto. Vastaavasti myös jokaisen siirtymäehdon välissä tulee olla askel. Siirtymäehto on jokin ohjelman sisäisestä tai I/O-muuttujista. Kun muuttuja on tosi, niin ohjelma siirtyy seuraavaan askeleeseen. Siirtymäehto voidaan vaihtoehtoi-

sesti myös määritellä niin, että muuttujan ollessa epätosi ohjelma, siirtyy eteenpäin. Myös usean muuttujan käyttäminen yhdessä siirtymäehdossa on mahdollista; tällöin muuttujien väliin laitetaan jokin looginen operaattori (yleensä and tai or).

- Entry ja exit action. Nämä ovat aliohjelmia, jotka upotetaan askeleeseen. Ne toteutetaan nimensä mukaisesti joko askeleeseen tultaessa tai siitä poistuttaessa. Aliohjelmissa voidaan käytännössä tehdä mitä vain esimerkiksi pakottaa jokin muuttujista haluttuun tilaan.
- Association eli yhteys. Tämän toiminto muokkaa muuttujan tilaa jonkin komennon mukaan. Komentoja ovat
 - N askeleen ajan päällä
 - S ja R set ja reset
 - D ja L viiveajastin ja pulssiajastin
 - CALL kutsuu aliohjelman.
- Alternative branch eli vaihtoehtoinen reitti ohjelmalle. Tällainen täytyy tehdä, kun ohjauksessa on useampi tapahtuma skenaario.
- Jump eli hyppy määritettyyn askeleeseen. Ohjelmat loppuvat hyppykäskyyn, joka johtaa ohjelman alkuun.
- Macro eli makro sisältää yhden tai useamman sekvenssin. Makrot voivat sisältää myös toisia makroja.

Kuvassa 5 esitellään pientä osaa SFC:llä kirjoitetusta ohjelmasta. Kuvasta näkyvät kaikki yläpuolella luetellut termit paitsi hyppy ja makro, tosin ohjelman pätkä on itsessään makron HakuK1 sisällä.



Kuva 5. Sekvenssiohjelman osa.

5.3.3 Strukturoitu teksti (ST)

Strukturoitu eli rakeenteellinen teksti on ohjelmointikieli, joka muistuttaa C- ja Python-kieliä. ST on korkean tason ohjelmointikieli, mutta tästä huolimatta melko yksinkertainen käyttää. Jos omaa aiempaa kokemusta C- tai Python kielistä, niin Strukturoituun tekstiin oppii hyvin nopeasti. ST sopii hyvin esimerkiksi ohjelmiin, joissa täytyy laskea matemaattisia arvoja kuten liikkuvan kappaleen koordinaatteja. Tätä olisi vaikeampi toteuttaa alemman tason ohjelmointikielillä kuten sekvenssikaaviolla. ST:llä voidaan myös luoda uusia ohjelmalohkoja toimilohkokaavio (FBD) kieleen. (Structured Text Tutorial to Expand Your PLC Programming Skills 2015: 1)

ST on myös kätevä työkalu aliohjelmien tekemiseen, kun ohjelman pääasiallinen logiikka hoidetaan alemman tason kielellä esimerkiksi SFC:llä. Tällöin ST-aliohjelma voi vaikka tarkkailla I/O-muuttujia ja ohjata niiden mukaan pääohjelman muuttujia, niin kuin kuvassa 6 on tehty. Kuvan ohjelma kirjoittaa hissin paikkamuuttujia todeksi tai epätodeksi hissin korkeuden mukaan. (Structured Text Tutorial to Expand Your PLC Programming Skills 2015: 1)

```
1
2 IF GVL.bnostemenpaikka >=380 AND GVL.bnostemenpaikka <= 390 THEN
3     GVL.pls:= TRUE ;
4 ELSE
5     gvl.pls:=FALSE ;
6 END_IF
7
8 IF GVL.bnostemenpaikka >=1030 AND GVL.bnostemenpaikka <= 1040 THEN
9     GVL.p2s:= TRUE ;
10 ELSE
11     gvl.p2s:=FALSE ;
12 END_IF
13
14
```

Kuva 6. Pätkä ST:llä kirjoitettua aliohjelmää.

6 Prototyypin valmistus

Tässä luvussa käsitellään hyllystöhissin tarttujan yksittäisiä osia. Tarttujakokoonpanon osaluettelo löytyy liitteestä 2, josta voi katsoa, mitä osaa tarkoitetaan.

6.1 Jatkosuunnittelu ja valmistusvaiheet

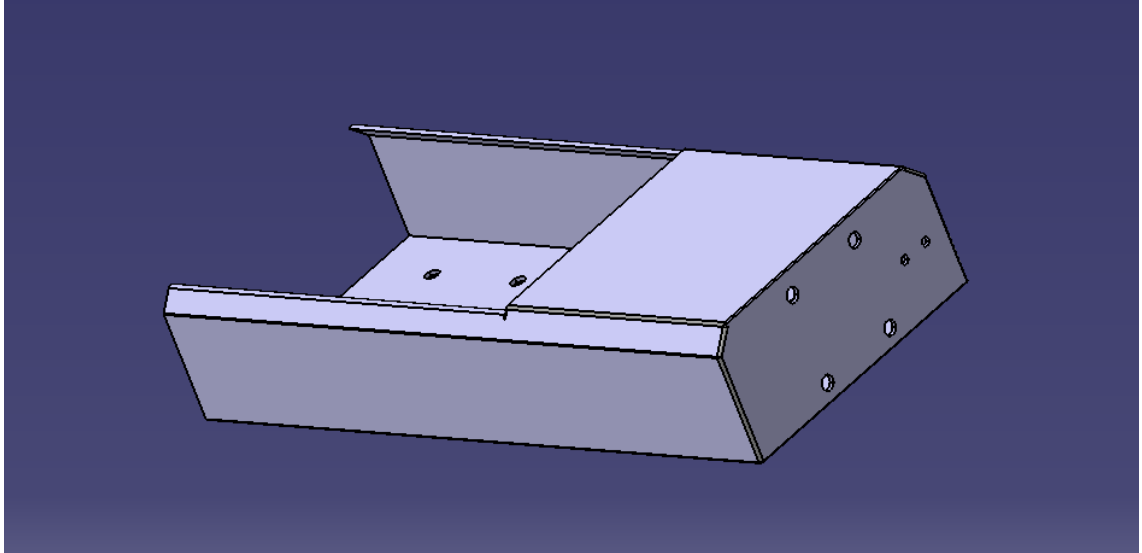
Koska edellinen työryhmä oli käyttänyt mallintamiseen pääasiassa Catiaa, tuli siitä myös tämän projektin käytetyin CAD-ohjelma. Muita projektissa käytettyjä CAD-ohjelmia ovat Siemens NX ja Solidworks. NX:ää käytettiin DT-työvaiheessa ja Solidworksia lähinnä kokoonpanomallien tarkasteluun raportointi vaiheessa.

6.1.1 Jatkosuunnittelu

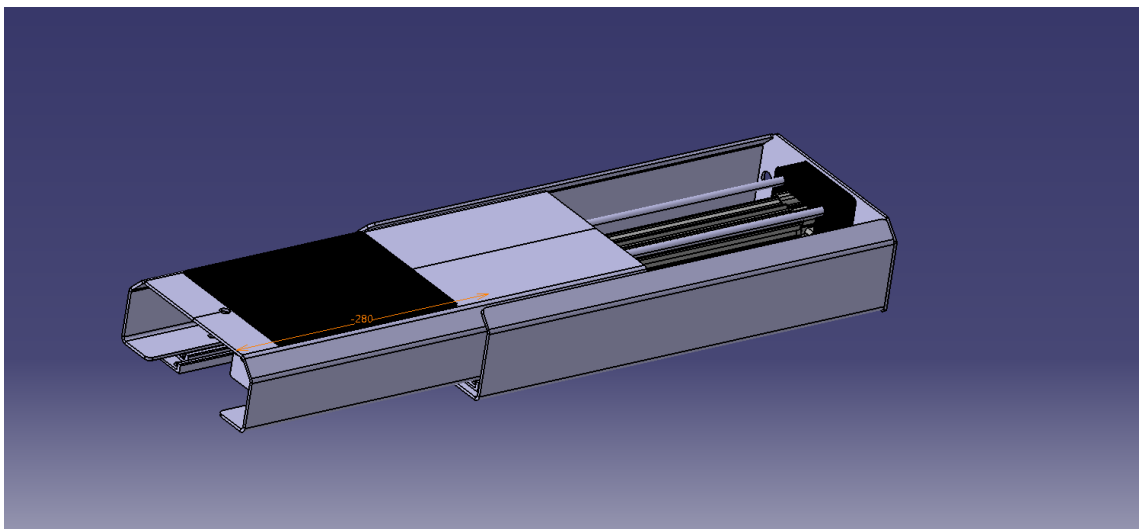
Lähtökohtainen tarttuja vaati jatkosuunnittelua, jotta se saatiin valmistettua helpommin. Lisäksi nostettavan kuorman massa ei kuormittanut sylinteriä suoraviivaisesti vaan 90°:n kulmassa männänvarteen nähden. Tätä ei voida sallia, koska Hulkkosen (2006: 2) mukaan pneumaattisten sylintereiden tehtävä on muuttaa pneumaattinen energia suoraviivaiseksi liikkeeksi. Ratkaisuna tarttujaan piti suunnitella johteet, jotka kannattelevat kuormaa.

Tarttuja haluttiin mallintaa uudestaan, koska se valmistettiin ohutlevytyönä ja laser-leikkurille täytyi saada 1:1-levityskuvia. Ongelma alkuperäisissä malleissa oli se, että kaikki yksittäiset levyt eivät olleet yksittäisiä osia ja kuvan 7 mukainen putkimainen levyosa olisi ollut mahdotonta valmistaa yhdestä levystä taittelemalla. Mallinnus oli tehty part-työkälulla, eikä sen levyosista saanut suoraan levityskuvia laserleikkurille. Tarttuja mallinnettiin uudestaan sheet metal -työkälulla. Tätä varten tarttuja piti purkaa yksittäisiin levyosiin, joista varsinainen kokoonpano kasattiin. Jos levityskuvat olisi tehty part-työkälulla mallinnetuista osista, olisi pitänyt suorittaa erilaisia laskutoimituksia taitosten takia, jotta aihiomitta olisi saatu oikeaksi. Lisäksi levityskuvan piirtäminen on aikaa vievää ja hankalaa työtä verrattuna sheet metal-kappaleesta otettuun levityskuvaan. Lopputuloksena saatiin kuvan 8 mukainen kokoonpano, joka vastaa ulkoisilta mitoiltaan alkuperäistä, mutta on mahdollista valmistaa levytyönä. Part-työkälu on tarkoitettu ensisijaisesti

ainetta poistavaan tai lisäävään valmistukseen eikä levytöihin. Lisäksi tarttuja olisi erittäin vaikea koneistaa laatikkomaisen rakenteensa takia ja koneistamalla materiaalihukka olisi suuri. 3D-tulostus taas ei onnistu Metropolian tulostimilla, ja levytyöt ovat nopein ja taloudellisin tapa valmistaa alumiininen tarttuja.



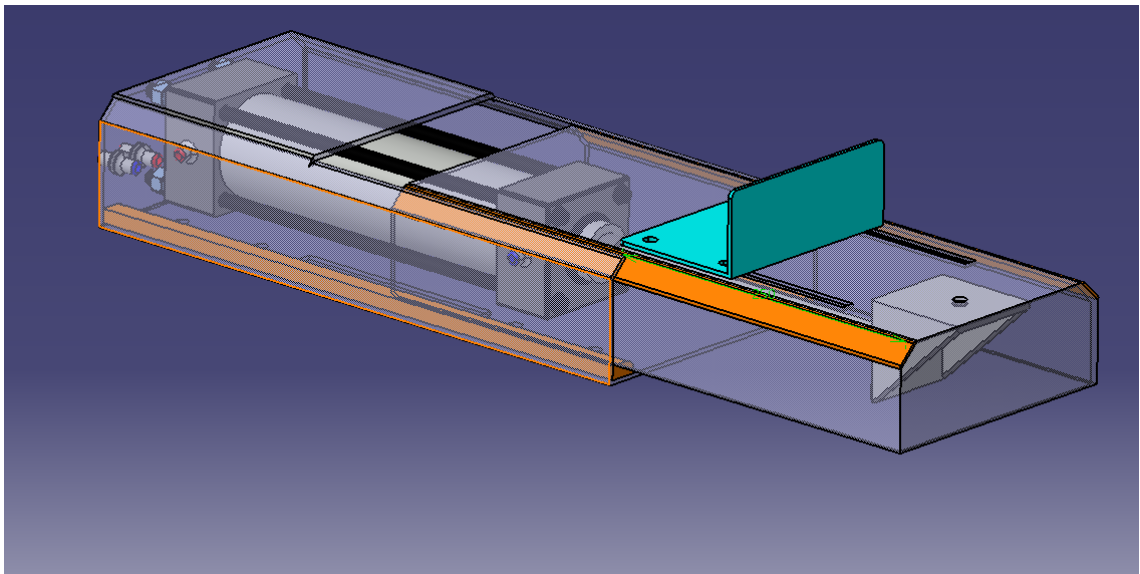
Kuva 7. Vanhan tarttujan putkimainen ulkolevy.



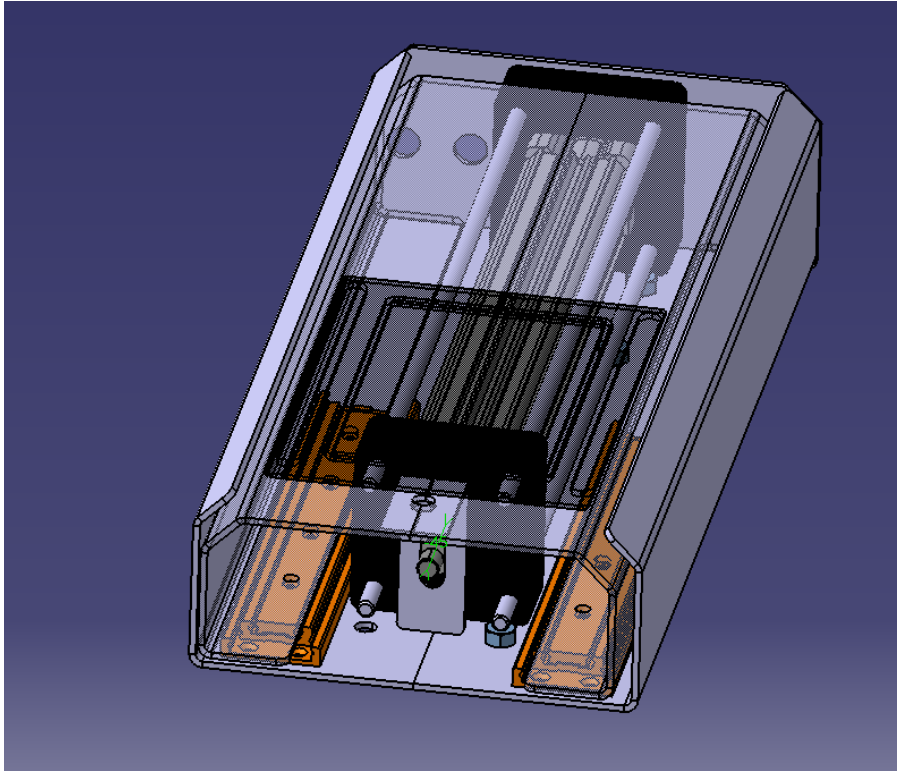
Kuva 8. Uusi sheet metallilla mallinnettu tarttujan kokoonpano.

Lisäksi jatkokehityksessä pyrittiin vähentämään hankauskitkaa, määrittämään teleskooppijohteiden asennus ja helpottamaan tarttujan kokoamista.

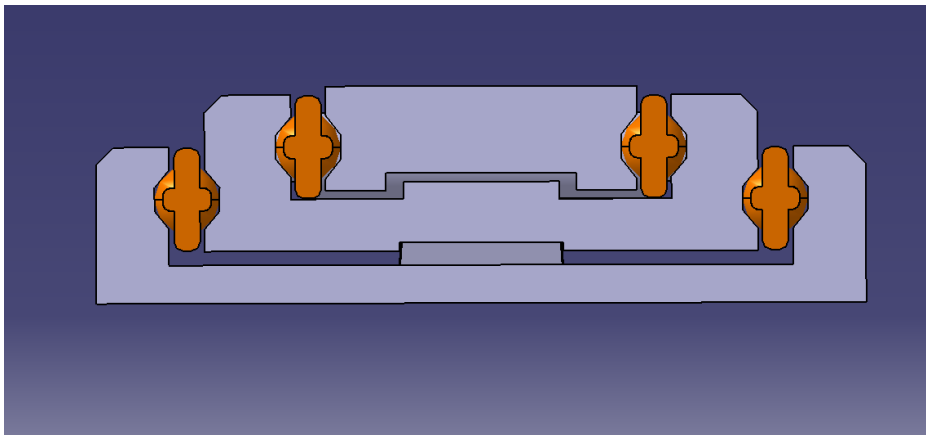
Teleskooppijohteet vähensivät jo itsessään hankauskitkaa merkittävästi, mutta sen lisäksi tarttujasta poistettiin PTFE-muovipalat, joten ulkolevyn ja sisälevyn väliin jäi ilmaa. Edellisessä versiossa nykyisten johteiden paikalla oli PTFE-palat, joiden päällä sisälevy olisi liukunut auki. PTFE-paloja oli suunniteltu myös sisälevyn yläpuolelle. PTFE:llä on kaikista muoveista pienin kitkakerroin itseään ja metalleja vasten, joten se olisi tältä osin ollut hyvä materiaali liukupinnaksi. Kuitenkin PTFE:stä mitatun kuulapainekovuuden tulos kertoo sen olevan soveltumaton tähän tarkoitukseen. Jos tarttuja olisi ratkaistu niin, että sylinteri kuormittuisi vain suoraviivaisesti, pehmytensä takia PTFE-liukupintoihin olisi voinut tulla pysyvää muodonmuutosta, kun tarttuja olisi auennut ja kuorma olisi vääntänyt sisälevyä. PTFE:stä Mitattu kuulapainekovuus on 25 N/mm^2 ja kun massa vääntää sisälevyä ulkolevyä vasten on kuormitus paloissa epätasaista, jolloin voidaan pitää todennäköisenä, että myötöraja ylittyy paikallisesti ja pysyvää muodonmuutosta tapahtuu. Toisin sanoen PTFE-palat eivät kestä työn kulutusta. [PTFE, polytetrafluorieteeni (Teflon)] Alla olevista kuvista voi verrata vanhan kokoonpanon PTFE-palaratkaisua uuden kokoonpanon teleskooppijohteisiin.



Kuva 9. Vanhassa tarttujassa PTFE-palat ovat korostettuna oranssilla värillä.



Kuva 10. Uudessa tarttujassa teleskooppijohteet ovat korostettuna oranssilla.



Kuva 11. Projektiokuva teleskooppijohteesta, kuulalaakerit korostettuna oranssilla värillä.

Teleskooppijohteet asennettiin vaakatasoon alapuolen PTFE-palojenpaikalle ja niiden asennuksen helpottamista varten, sisälevyyn suunniteltiin käden mentävä asennusaukko, joka peitettiin 3D-tulostettavalla muovikannella. Kansi on nähtävissä yläpuolella olevassa kuvassa 10, kuvassa kansi on läpinäkyvä ja musta. Johteet aukeavat kahdessa

osassa, koska ne muodostuvat kolmesta kiskosta, joiden välissä on kuulalaakerit. Johteiden isku on 263 mm ja kantama 30 kg, joten jo yksikin tarttuja voisi kannatella suurimman mahdollisen nostettavan massan kaksinkertaisena. Kahdenkasvatusalustan massa on märkänä noin 30 kg. Tarttuvia nykyisessä hississä on kaksi, joten teoriassa hissillä voisi nostaa kahdeksan alustaa kerralla. Tämä ei tietenkään ole käytännössä mahdollista, koska tarttujan levyille ei mahdu kuin kaksi alustaa kerrallaan. Johteet tulevat kiinni sisälevyyn ylimmästä kiskosta, jossa on viisi M4-kierrereikää. Kisko on pituudeltaan noin puolet sisälevyn pituudesta, mikä on merkittävä seikka, ja tähän palataan luvussa 6.2.

Sylinteri suunniteltiin kiinnitettäväksi tarttujan takalevyyn kahdella 3D-tulostettavalla pesällä, joiden väliin laitettiin neljä $\varnothing 8$ mm pyörötankoa. Pyörötankojen molempiin päihin suunniteltiin kierteet, jolloin sylinteri pesineen voidaan kiinnittää takalevyyn muttereilla ja aluslaatoilla.

6.1.2 Laserleikkaus

Valmistusvaihe alkoi levyaihioiden laserleikkauksella. Tässä vaiheessa huomattiin, että sisälevyyn täytyy tehdä pieniä muutoksia, jotta levyn kanttaus onnistuu myöhemmin. Toimenpiteenä sisälevyn asennusreikiä siirrettiin molemmin puolin 5 mm lähemmäs keskilinjaa. Tämän jälkeen aihoiden leikkaus voitiin suorittaa. Sisä- ja ulkolevyjä leikattiin kaksinkertainen määrä, jotta voitiin testata kanttausta testikappaleilla.

6.1.3 Särmäyspuristus

Valmistusvaihe jatkui levyjen kanttauksella, tämä oli työvaiheena huomattavasti laserleikkausta haastavampi. Ongelmia aiheutui sisälevyn 45°:n taivutuksista, sillä taitoksia tuli sen verran lähelle keskilinjaa, että ensimmäisellä työkalulla oli mahdotonta tehdä 90°:n taitosta levyn reunojen läheisyyteen. Ensimmäinen sisälevy yli taitui tämän takia. Koneeseen vaihdettiin ylätyökaluksi terä, joka oli 300 mm korkea. Tällä terällä kanttaaminen onnistui, mutta silti täytyi miettiä tarkkaan kulmien särmäysjärjestys. Silti oli muutamien millimetrin päässä, ettei levy osunut terään ja taitos epäonnistunut. Ulkolevyn särmäys onnistui helpommin, koska siinä oli 90°:n taitokset sisempänä ja 30 mm levyn reunasta 45°:n asteen taitokset. Koska 45°:n taitoksen yli menevää levyä oli vain 30 mm ei

ollut vaaraa, että se olisi törmännyt terään, eli tämän takia ulkolevyä oli helpompi särmätä.

6.1.4 3D-tulostus

Tarttujaan tulostettiin Metropolian Ultimaker S3 -tulostimella kaksi sylinterinpesää, joiden tarkoitus on pitää sylinteri paikoillaan. Lisäksi tulostettiin asennusaukonkansi ja muutama kokeellinen osa, jotka todettiin hyödyttömiksi lopputuotteessa.

Sylinterinpesät täytyi tulostaa tiheällä täytöllä, koska niistä täytyi saada tarpeeksi kestävä mutterikiinnitystä varten. Tulostus verkontiheytenä käytettiin 70 %:n tiheyttä ja koska pinnanlaadulla ei ollut merkitystä, valittiin pinnanlaaduksi 0,2 mm:n tarkkuus eli epätarkin mahdollinen. Huomattiin, että tulostusaikaan vaikuttaa materiaalin tiheyttä huomattavasti enemmän pinnan laatu, joten tarkkuuden pudottamisella säästettiin yli kymmenen tuntia aikaa. Sylinterin pesissä on 16 mm:n seinämäpaksuus, joten niistä tuli tarpeeksi kestävä.

Asennusaukonkanteen olisi riittänyt pienempikin materiaalin tiheys, mutta koska tulostus oli nopeaa 0,2 mm:n tarkkuudella, käytettiin kanteenkin samaa 70 %:n tiheyttä. Kestävä kansi parantaa laitteen turvallisuutta, koska sen tehtävä on estää käden joutuminen liikkuvien osien tielle, joten korkea materiaalin tiheys on näin ollen hyvinkin perusteltu. Kanteen paksuus on 2 mm.

Kokeelliset osat olivat täytepaloja PTFE-muovien tilalle sisälevyn yläkulmiin. Ne osoittautuivat turhiksi, koska niistä olisi aiheutunut hankauskitkaa, eikä niiden antamalla tuella ole merkitystä teleskooppijohteiden kanssa. Ne kuitenkin tulostettiin 80 %:n täytöllä, sillä käytössä niihin olisi kohdistunut selkeästi suurempaa räsitusta kuin muihin muoviosiin.

6.1.5 Hitsaus

Hitsausvaiheessa haasteita loi alumiinin hitsaaminen. TIG-hitsauslaite täytyi säätää hyvin tarkkaan, jotta hitsauslaite saatiin tekemään siistiä jälkeä. Virta säädettiin 33 ampeeriin ja pulssi 1,5 hertziin.

6.2 Lopputulokset

Valmistusvaiheen jälkeen saatiin valmiiksi ulkoisilta mitoiltaan täysin suunnitelmien mukainen tarttujaprototyyppi. Kuitenkin ehkä levykantauksesta syntyneistä millimetrin suuruisista heitoista johtuen sisälevy kolaroi hieman (alle 1 mm:n syvyydellä) sylinterin asennuskannen kanssa. Tämä ongelma ratkaistiin asentamalla M5-mutterit johteiden ja sen kiinnitysreikien väliin. Näin sisälevyä saatiin nostettua 3 mm ylöspäin ja tarttuja pääsi liikkumaan vapaasti.

Ilman kuormaa tarttuja aukeaa ja sulkeutuu ilman, että mitkään osat hankaavat toisiaan vasten. Koska teleskooppijohteet pystyvät tukemaan sisälevyä vain etupuolikkaalta, aiheuttaa kuorma tarttujan päällä sen, että sisälevyn takapää nousee vasten ulkolevyä ja sulkeutuessa syntyy hankauskitkaa ja ääntä. Tämän voisi ratkaista vaihtamalla teleskooppijohde sellaiseen johteeseen, joka tukee sisälevyä mahdollisimman pitkältä matkalta, eli johteen ylemmän kiskon tulisi olla ainakin kaksi kertaa pidempi. Nykyisen johteen ylimmän kiskon pituus on 231,5 mm.

7 Hyllystöhissin 3D-mallin muutokset

Hyllystöhissin malleja täytyi päivittää digikaksosta varten ja valmistettavuuden selkeyttämiseksi. Aiemmin tehdyssä simulaatiossa ei ollut vielä todellisia nostimen osia vaan itsemallinnetut kuvainnolliset osat, joita ei ollut koskaan tarkoitus valmistaa. Päivityksiä tehdessä huomattiin kuitenkin muitakin piirteitä, jotka olivat muutosten tarpeessa. Tässä luvussa kerrotaan poikkipalkkikokoonpanosta ja sen yksittäisistä osista. Poikkipalkin osaluettelo on liitteessä 1, josta voi katsoa, mitä kokoonpanon osaa tarkoitetaan.

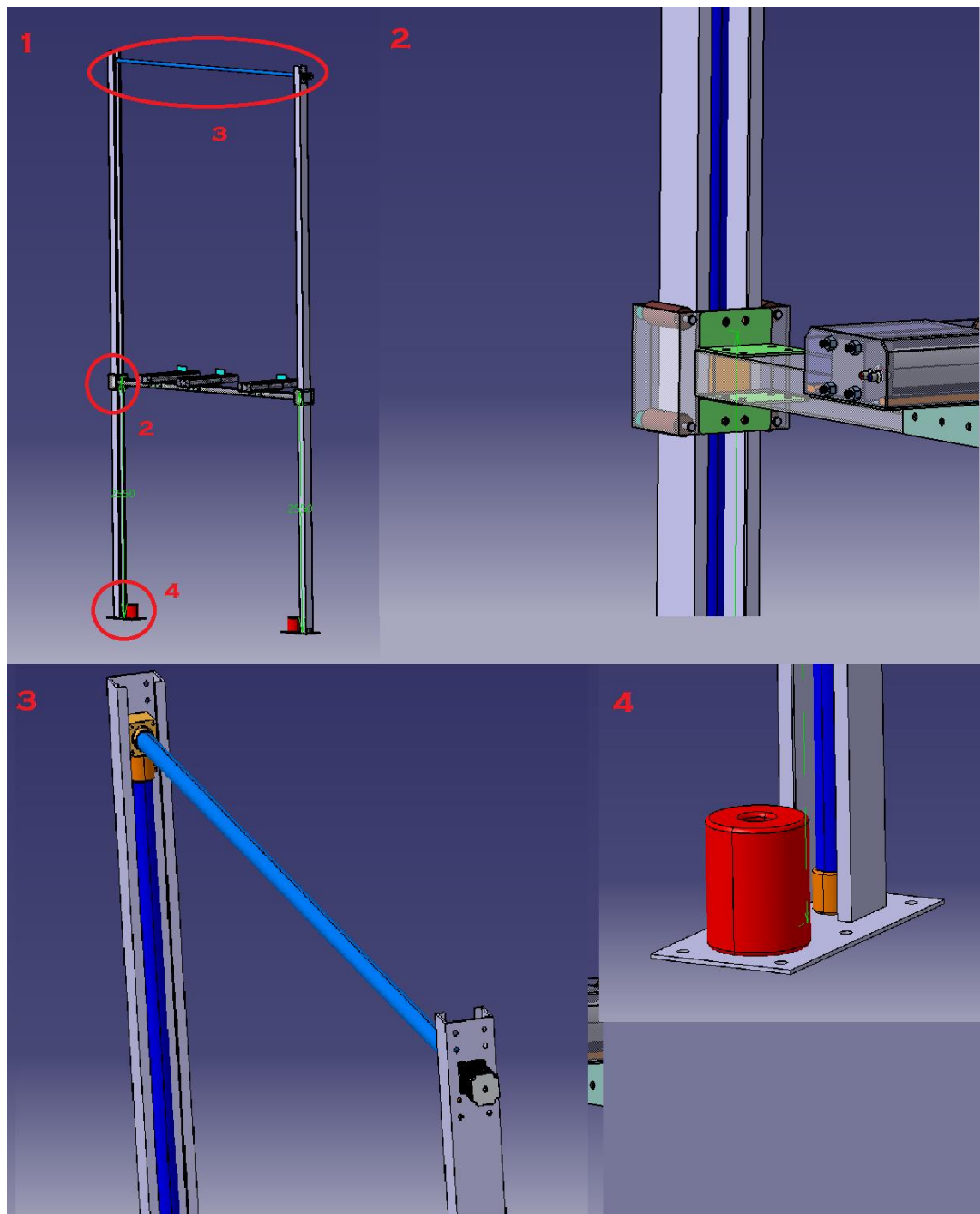
7.1 Nostin

Movetec oli tarjouksensa yhteydessä suunnitellut sopivan hyllystöhissin nostinkonseptin, johon kuului mm. lineaarijohteet ja moottori. Movetecin konseptin päivittäminen 3D-malleihin oli tarpeellista, vaikkei siitä ollut sovittu mitään projektin aloituspalaverissa, jolloin määritettiin tämän projektin työtehtävät. Nostimen mallien päivittäminen todellisuutta vastaaviin oli perusteltua, jotta työn mahdolliset jatkajat välttyvät laitteen toimivuuteen liittyviltä sekaannuksilta.

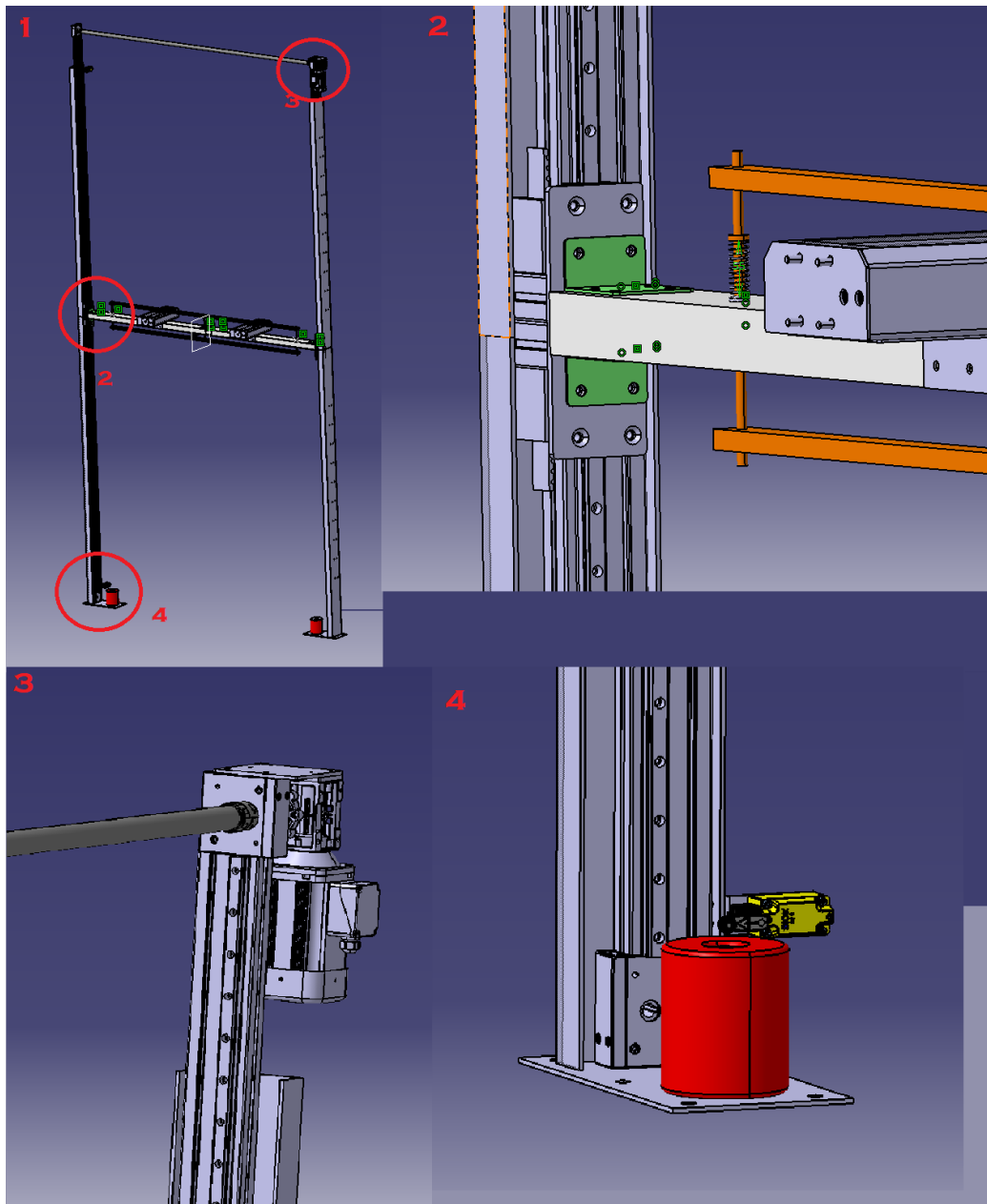
Lisäksi hissien poikkipalkki sai uusia piirteitä ja joitain vanhoja poistettiin, jotta poikkipalkin ja lineaarijohteen väliset liitokset voitiin suunnitella oikeanlaiseksi. Poikkipalkkiin jäi L-raudat, joilla se saatiin kiinnitettyä johteeseen, mutta rullat poistettiin, koska ne olivat turhia. Rullien alkuperäinen tarkoitus oli ohjata poikkipalkkia ja vähentää liikekitkaa, mutta koska lineaarijohteet hoitavat em. asiat, ei rullia tarvita. Movetecin lähettämät step-tiedostot täytyi avata Catialla ja tallentaa kokoonpanoina tai osina, minkä jälkeen ne voitiin lisätä ylempään kokoonpanoon poikkipalkin ja sylinterien kanssa. Vanhoista suunnitelmista säilytettiin nostolaitteen liitântätapa lattiaan eli lineaarijohteet kiinnitetään pultteilla 6 m pitkiin U-rautoihin, jotka hitsataan lattiaan pultattavaan lattarautaan. Vanhassa suunnitelmassa nostolaite oli kiinnitetty myös yläpäästä viljelylinjastoon, mutta Movetecin suunnittelijoiden kanssa pidetyssä palaverissa arveltiin lattiakiinnityksen olevan riittävä, joten yläkiinnitystä ei ole nykyisissä malleissa.

Jos tulevaisuudessa näyttää siltä, että yläkiinnitys on tarpeellinen, se on helppo toteuttaa lattaradalla, joka voidaan pultata tai hitsata välille hyllystöhissi–viljelylinjasto. Lineaarijohteissa on T-ura, joihin pultit voidaan kiinnittää, U-raudan ja johteen väliin on laitettava

holkkeja, jotta osien väliin jää tarpeeksi tilaa johteen kelkalle ja hihnapyörille. Alla olevista kuvista 12 ja 13 voidaan vertailla uusia ja vanhoja nostimen malleja.



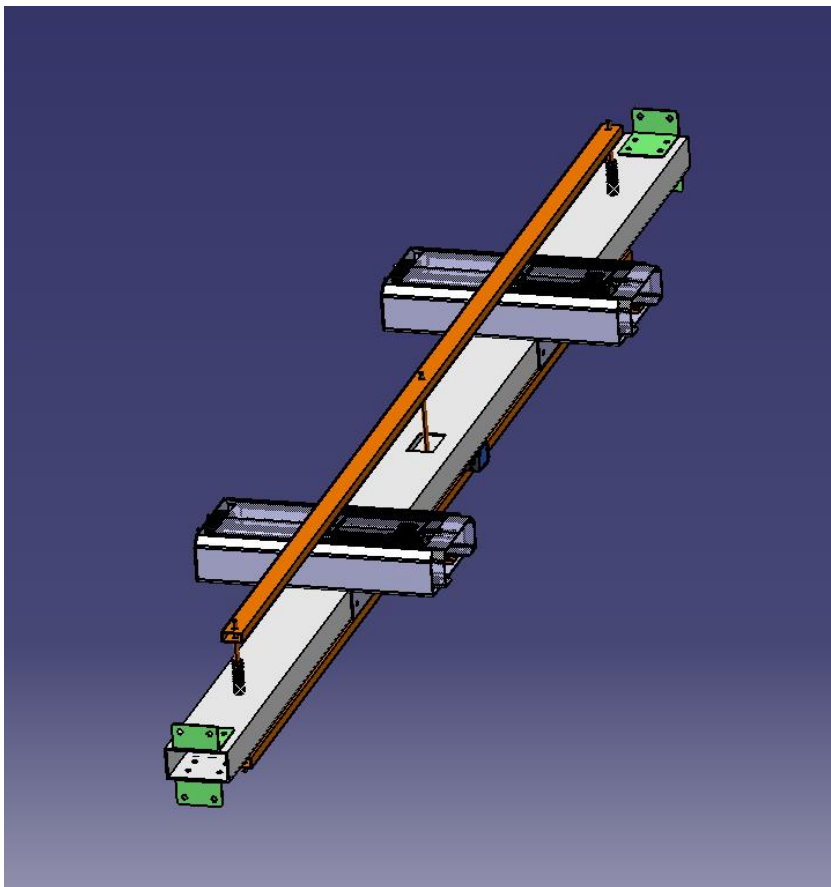
Kuva 12. Kollaasikuva vanhasta nostimen mallista. Kuva 1 yleiskuva, kuva 2 poikkipalkin kiinnitys johteeseen, kuva 3 voiman välitys, kuva 4 lattiakiinnityslevy ja lepopyörä.



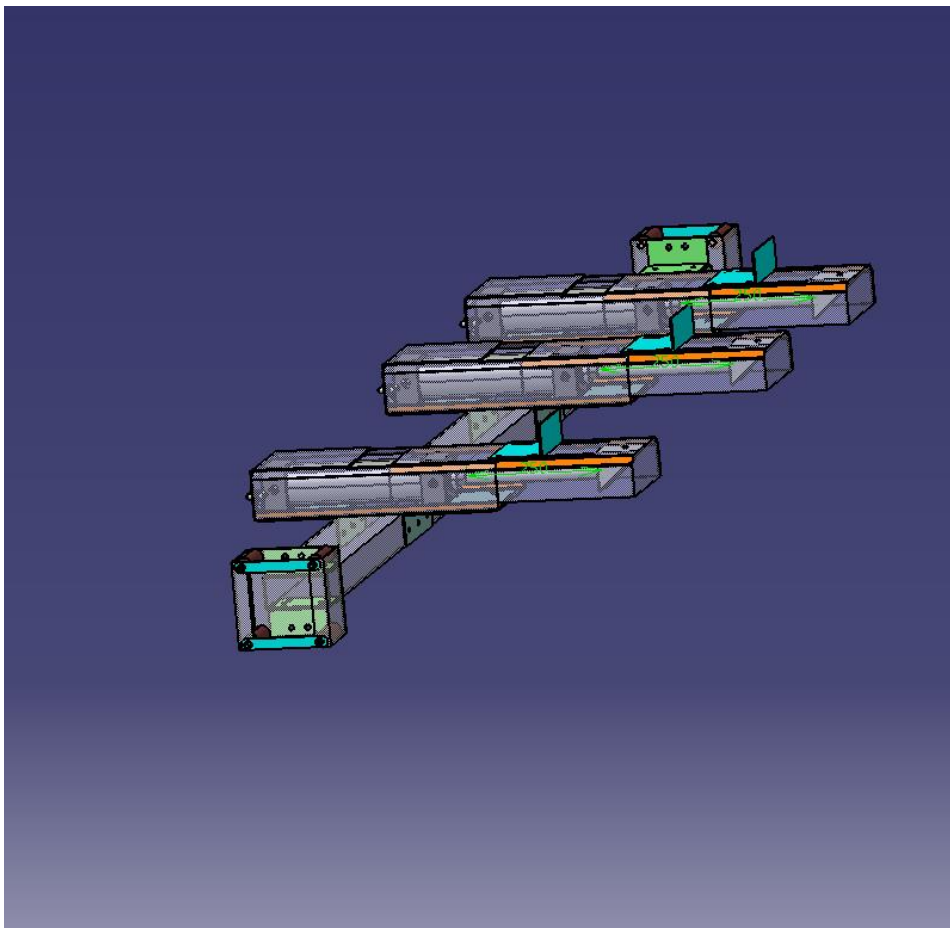
Kuva 13. Kollaasikuva uudesta nostimen 3D-mallista.

7.2 Poikkipalkki

Niin kuin alla olevista kuvista nähdään, uudesta poikkipalkkikokoonpanosta on poistettu yksi tarttuja. Kuvasta 15 huomaa, että vanhassa kokoonpanossa tarttujat eivät ole symmetrisesti. Tarttujia ei voitu asetella symmetrisesti, koska silloin keskimäinen olisi törmännyt kerrosviljelylinjastoon. Kaksi tarttujaa mahdollisimman etäällä toisistaan on täysin riittävä ratkaisu. Teleskooppijohteiden ansiosta uudet tarttujat ovat tukevat, vaikka niitä kuormitettaisiinkin enemmän. Kuormitus jakautuu myös tasaisemmin, kun tarttujat ovat aseteltu symmetrisesti.

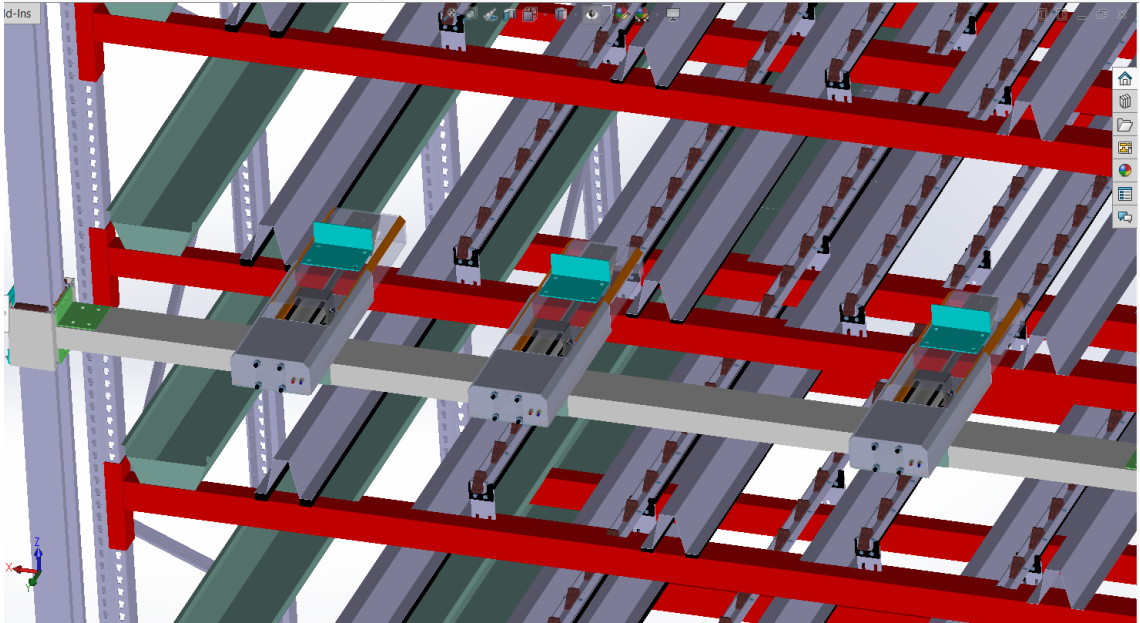


Kuva 14. Uusi poikkipalkkikokoonpano



Kuva 15. Vanha poikkipalkkikokoonpano

Kuvasta 16 nähdään syy, miksi kolmea tarttujaa ei voitu asettaa symmetrisesti ja leveimmät mahdolliset asennuspaikat kahdelle tarttujalle. Kasvatusalustan liikuttelukourut ovat rajoittavana tekijänä molemmissa tapauksissa.



Kuva 16. Lähtökohtainen hyllystöhissi paikallaan, kuvasta nähdään, että kasvatusalustan tuki estää keskimmäisen tarttujan asentamisen keskelle.

8 Digitaalisen kaksosen luominen hyllystöhissistä

8.1.1 Digitaalisen kaksosen rakentaminen NX:llä

Tässä projektissa omiksi RB-rungoikseen määriteltiin molemmat kasvatusalustat, poikkipalkki, pystyjohteet, väliakseli, tarttujan liikkuvat osat ja teleskooppijohteen keskimmäinen kisko. Poikkipalkki RB sisältää myös tarttujan paikoillaan pysyvät osat, kuten sylinterinkuoren ulkolevyn teleskooppijohteen alimman kiskon. Tarttujan liikkuvat osat puolestaan sisältävät mm. sylinterin männänvarren, sisälevyn sekä teleskooppijohteen ylimmän kiskon. Teleskooppijohde täytyi jakaa kolmeen eri RB:hen, koska sen kolme kiskoa ovat erikseen liikkuvia osia. Molempien tarttujen liikkuvat osat voitiin laittaa samaan RB:hen, koska ne liikkuvat toisiinsa nähden samaan suuntaan ja samaan aikaan. Samalla perusteella muutkin tarttujen osat voitiin laittaa yhteen poikkipalkki RB:ssä.

Törmäyspinnoiksi (CB) määriteltiin hyllystön puolelta jokaisen kasvatusalustatuen yläpinta, sekä kasvatusalustojen pohjat. Hissin puolelta CB-pinnoiksi määriteltiin sisälevyjen yläpinta, koska ne nostavat kasvatus alustat hissin kyytiin. Simulaation todenmukaisuutta silmällä pitäen, myös lattiatasolla olevat kumiset pysäytystuet ja poikkipalkin pohja määriteltiin CB-pinnoiksi, jotta hissi pysähtyy, jos ajaa päin alarajaa. Hissin ylärajalle ei ole suunniteltu vastaavia pysäytystukia, mutta molemmille rajoille suunniteltiin tässä työvaiheessa sähkömekaaniset raja-anturit, jotka pysäyttävät hissit ohjausohjelman kautta, jos hissi on ajamassa päin päätyrajaa. Siispä alarajalla olevien pysäytystukien tehtäväksi jää ainoastaan poikkipalkille tukialustana toimiminen hissin huollon yhteydessä.

Luotujen RB-kokonaisuuksien välille piti luoda liitokset, jotta simulaation liikeradat saadaan todenmukaisiksi. Käytettyjä liitostyyppöjä ovat kiinteäliitos (fixed joint), saranaliitos (hinge joint) ja liukuliitos (sliding joint). Kiinteällä liitoksella ei ole ollenkaan vapausasteita, saranaliitoksella on yksi vapausaste, joka sallii kiinnitettävän kappaleen pyörähtämisen yhden pohjakappaleeseen määritetyn akselin ympäri. Myös liukuliitoksella on yksi vapausaste, jossa kiinnitettävä kappale voi tehdä lineaariliikettä yhden pohjakappaleeseen määritetyn akselin mukaan. Kiinteää liitosta käytettiin esimerkiksi tarttujan liikkuvien osien ja poikkipalkki RB:een välisenä liitoksena, liukuliitosta poikkipalkin ja pystyjohteen välissä ja saranaliitosta väliakselin ja laakerinvälisenä liitoksena.

Kun liitokset oli luotu, voitiin niiden pohjalta alkaa määrittelemään nopeus- ja paikkasignaaleja sekä nopeus- ja paikkasensoreita. Tämä työvaihe on tärkeää tehdä huolella, koska signaalit toimivat yhtymälinkkinä ohjausohjelmaan ja ovat täten pakollisia toimivan ohjauksen kannalta. Suurin osa DT:een signaaleista määriteltiin singal adapterissa.

8.2 Ohjausohjelma

Ohjausohjelman päätehtävä on ohjata hyllystöhissiä ja sen tarttuvia siten, että kasvatusalustat saadaan kuljetettua kerroksesta x kerrokseen y. Hissiä on suunniteltu ohjattavan käyttöpaneelilla, josta valitaan kerrokset sen mukaan, mistä mihin kasvatus alusta on tarkoitus kuljettaa. Tämän perusteella lähdettiin luomaan ohjausohjelmaa CODESYS-ohjelmalla.

8.2.1 Ohjelman rakenne

Pääohjelman kieleksi valittiin sekvenssikaavio, ja pääohjelman tueksi kirjoitettiin aliohjelmiä strukturoidulla tekstillä. Ohjelman rakenne on seuraavanlainen:

- Pääohjelma on jaettu kerrosten mukaan 64 sekvenssiksi. Yksi sekvenssi siirtää kasvatusalustan kerroksesta x kerrokseen y, käyttäjän valitsemien kerrosten perusteella. Sekvenssien määrä johtuu siitä, että kerrosviljelylinjastossa on kahdeksan kerrosta ja jokaisesta kerroksesta täytyy voida viedä mihin tahansa kerrokseen kasvatusalusta, jotta saadaan toteutettua jokainen mahdollinen hissin liikerrata, tarvitaan kahdeksan kertaa kahdeksan (64) sekvenssiä. Näistä sekvensseistä puhutaan Codesysissä macroina.
- Strukturoidulla tekstillä kirjoitettu aliohjelma kirjoittaa ohjelman sisäisiä paikkamuuttujia todeksi, kun hissin paikka-anturin syöttämä arvo vastaa kyseisen kerroksen korkeutta.
- Paikkamuuttujat toimitat sekvensseissä siirtymäehtoina, eli ne pysäyttävät hissin oikeaan paikkaan ja käynnistävät alustan kyytiinotto- tai paikoilleenvientivaiheen.

Sekvenssit ovat keskenään täysin samat, niillä on vain eri paikkamuuttujat. Sekvenssi alkaa siten, että ohjelma lukee hissin paikka-arvon ja sen mukaan, joko laskee tai nostaa sitä. Hissi liikkuu oikeaan kerrokseen kyytiinottokorkeuteen, paikkamuuttuja pysäyttää hissin oikealla korkeudella, ja käynnistää poimintavaiheen. Poimintavaiheessa tarttumat aukeavat kasvatusalustan alle ja hissi nostaa kasvatusalustan irti hyllystä. Tarttumat sulkeutuvat alusta kyydissä, tarttujan sylinterissä oleva paikka-anturi kertoo tarttujan menneen kiinni, ja tämä tieto käynnistää paikoilleen vientivaiheen. Paikoilleenvientivaihe on kuin poimintavaihe, mutta nyt tarttumat aukeaa hieman korkeammalla hyllytasoon nähdessä, minkä jälkeen laskee alustan paikoilleen ja sulkeutuu alustan jäädessä hyllyyn. Kun sylinterin paikka-anturi ilmoittaa uudelleen tarttujan menneen kiinni, hissi jää paikoilleen ja ohjelma palaa alkuun odottamaan uutta käskyä. Sekvenssin rakennetta voi tutkia liitteestä 3.

8.2.2 Muuttujat ja anturit

Ohjelman muuttujat nähdään kuvasta 17.

```

1 {attribute 'qualified_only'}
2 VAR_GLOBAL //Sisäiset//
3
4 //Inputit// pls:BOOL;
5 bnostemenpaikka:LREAL; p2s:BOOL;
6 bkerros1:BOOL; p2n:BOOL;
7 bkerros2:BOOL; p3s:BOOL;
8 bkerros3:BOOL; p3n:BOOL;
9 bkerros4:BOOL; p4s:BOOL;
10 bkerros5:BOOL; p4n:BOOL;
11 bkerros6:BOOL; p5s:BOOL;
12 bkerros7:BOOL; p5n:BOOL;
13 bkerros8:BOOL; p6s:BOOL;
14 sylinterikiinni:BOOL; p6n:BOOL;
15 sylinteriauki:BOOL; p7s:BOOL;
38 p7n:BOOL;
39 //Outputit// p8s:BOOL;
40 bauki:BOOL; p8n:BOOL;
41 bkiinni:BOOL; reset:BOOL;
42 bvasta:BOOL; balas:BOOL;
43 bmyota:BOOL; bylos:BOOL;
44

```

Kuva 17. Ohjelman muuttujat.

Inputit ovat hissin antureita ja ohjauspaneelin nappeja kuten kuvasta nähdään. Nostimenpaikka on ainoa reaaliarvo muuttuja eli ainoa, joka syöttää todellista numeroarvoa, tässä tapauksessa poikkipalkin ja lattian välistä matkaa millimetreinä. Poikkipalkkiin on kiinnitetty optinen paikka-anturi, jolta tämä muuttuja luetaan. Sylinteri kiinni ja auki ovat pääohjelman tarvitsemia siirtymäehtoja. Nämä muuttujat tulevat magneettisilta paikka-antureilta, joita on kiinnitetty molempien sylintereiden molempiin päihin. Männänvarren puolinen anturi antaa arvon tosi, kun sylinteri on auki.

Outputit ovat muuttujia, jolla ohjelma ohjaa hissiä. Auki ja kiinni muuttujat ohjaavat tarttuvia nimensä mukaan, kun auki on tosi sylinteri aukeaa jne. Vasta- ja myota-nimiset muuttujat ohjaavat hissiä ylös ja alas. Vasta tarkoittaa vastapäivään pyörimistä, eli se pyörittää nostimen akselia vastapäivään, joka laskee hissiä alaspäin. Myota tarkoittaa myötäpäivään pyörimistä ja toimii vastaavasti ylöspäin ohjaavasti.

Sisäiset muuttujat toimivat siirtymäehtoina sekvensseissä. Muuttuja p1s ja p1n ovat ensimmäisen kerroksen paikka arvot; nimi p1s tarkoittaa kerros yksi sisään ja p1n kerros yksi nosto. Jokaiselle kerrokselle tarvitaan sekä sisään- että nosto-muuttuja, koska tarttujan täytyy poimintavaiheessa olla hyllytason alapuolella ja paikoilleen vientivaiheessa hyllytason yläpuolella. P1n-tyyppiset muuttujat myös pysäyttävät lyhyen nostoliikkeen, joka tapahtuu tarttujen ollessa linjaston sisällä. Alas- ja ylös-muuttujat ovat siirtymäehtoja, joista alkava sekvenssi valitsee aina toisen. Valinta tapahtuu omassa aliohjelmassa, joka on upotettuna jokaisen sekvenssin ensimmäiseen askeleeseen. Valinnan jälkeen hissi lähtee ylös tai alas sen muuttujan mukaan, joka on tosi. Reset-muuttujan ollessa tosi missä tahansa vaiheessa ohjelmaa ohjelma nollaantuu ja palaa alkuun. Tämä näkyy sekvensseissä siten, että jokaisen askeleen jälkeen on vaihtoehtoinen askel, johon ohjelma päättyy, jos reset on tosi.

8.2.3 Ohjausohjelman jatkokehitys

Ohjausohjelmaa pitää kehittää, koska sen kanssa tulee ongelmia, jos hissi pysäytetään ja sillä on kasvatusalusta kyydissä. Tällöin hissi pysähtyy, mutta kun pysäytys on ohi, ohjelma alkaa tavallisesti alusta. Ongelma syntyy siitä, ettei ohjelma huomioi kyydissä olevaa kasvatusalustaa ja se lähtee normaalisti hakemaan uutta kasvatusalustaa kyytiin. Tällöin hissi ajaa kolarin, jossa kasvatus alusta ja kasvatuslinjasto ottavat yhteen. Tästä

ei kuitenkaan koidu vahinkoa laitteelle tai ihmisille nykyisellä tarttujamallilla. Kasvatusalusta pahimmillaan putoaa lattialle ja kasvit vahingoittuvat, mutta henkilövahinkoja ei voi sattua, jos koneturvallisuus hoidetaan standardien ISO/TR 14121-2:2012 ja SFS-EN ISO 12100 mukaan. Tämä tarkoittaa, että hissien vaara-alueella ei käytön aikana saa olla ihmisiä.

Kuvailtua ongelmaa voisi lähteä ratkomaan niin, että tehdään uusi sekvenssi, johon ohjelma päättyy vain, jos hissi pysäytetään. Tämä palautussekvenssi ajaisi kasvatusalustan takaisin kerrokseen, josta sen haki. Jos tämä toteutetaan samalla ajatuksella kuin muu ohjelma, niin sekvenssiä kopioidaan siten, että jokaisella kerroksella on yksi palautussekvenssi. Niihin tulee kerroskohtaiset sisään ja nosto muuttajat aivan kuin muissakin sekvensseissä. Tämän jälkeen jo olemassa oleviin sekvensseihin vaihdetaan reset-askeleisiin init-hypyn kohdalle hyppy, joka vie ohjelman hakukerroksen mukaiseen palautussekvenssiin. Palautusliikkeen pitää käynnistyä vasta, kun käyttäjä kuittaa painikkeella pysäytyksen syyn olevan ohi. Kun kasvatusalusta on palautettu alkuperäiselle paikalleen, ohjelma palaa normaalisti alkuun ja käyttäjä voi alkaa kuljettaa alustaa uudestaan.

9 Hyllystöhissin ohjaus

9.1 Käyttöliittymä

Hissiä on suunniteltu ajettavan ohjauspaneelinkautta siten, että käyttöpaneelissa on nappi jokaista kerrosta kohden. Ensin ohjelma pyytää käyttäjää valitsemaan napilla kerroksen, josta kasvatusalusta siirretään (todennäköisesti idätystaso). Seuraavaksi ohjelma pyytää käyttäjää valitsemaan kerroksen, jonne haluaa kasvatusalustan siirrettävän. Tämän jälkeen ohjelma toteuttaa käyttäjän valinnat, mutta käyttäjä voi stop painikkeella pysäyttää hissin halutessaan.

Manuaalisen ohjausjärjestelmän lisäksi on mietitty automaattista ohjausta, joka toteutetaan antureilla. Antureita asetetaan jokaiseen kerrokseen sillä idealla, että idätystason anturi käynnistää siirron kasvatusalustan ollessa sen kohdalla. Tämän jälkeen ohjausohjelma siirtää kasvatusalustoja vuorotellen käytössä oleville tasoille, jotta tasojen käyttö pysyy mahdollisimman tasaisena. Automaattiajon aikana käytössä olevat tasot voidaan määrittellä käyttöpaneelin painonapeilla.

Automaatio-ohjausta voi vielä parannella esimerkiksi kaikkien tasojen anturoinnilla, jolloin hissi vie kasvatusalustan sinne missä on tilaa. Myös laskin-aliohjelmalla ohjauksen parantamista on pohdittu. Ideana on, että aliohjelma laskee kasvatusalustojen määrää kussakin kerroksessa siten että laskimeen lisätään yksi kasvatusalusta, kun hissi vie alustan kerrokseen ja vähentää kerroksesta alustan, kun alusta kulkee vähennysanturin ohi. Tässä on vähennysanturivalinnassa otettava huomioon, se että anturin signaali on saatava pätkimään alustojen kulkiessa sen ohi toisiinsa kiinni painautuneena. Toisin sanoen ei voida käyttää esimerkiksi kapasitiivistä anturia, koska silloin signaali ei muutu, jos alustat ovat kiinnitoisissaan ja laskin ei voi tällöin vähentää kasvatusalustoja laskinohjelmassa. Ratkaisuna voidaan käyttää esimerkiksi optista anturia, jonka vastakappaleita kiinnitetään kasvatusalustojen pohjaan, siten että anturin lähettämä signaali saadaan pätkimään alustojen ohi kulkiessa.

9.2 Lähtökohtainen ohjausperiaate

Tarttujaa ohjataan sähköisesti PLC-logiikalta 5-aukkoisen magneettiventtiilinkautta. Tarttujan paikka-arvo luetaan sylintereiden T-uriin upotettavilla T-ura-antureilla, esimerkiksi Sick-MZT8-antureilla. Nämä anturit lukevat männän sijainnin magneettisesti. Antureita tulee upottaa molempien sylintereiden molempiin päihin, jolloin sylinterien iskevillä puolilla olevat anturit ovat tosia sylintereiden ollessa auki. Päinvastoin sylintereiden ei iskevällä puolella olevat anturit ovat tosia, kun sylinterit ovat kiinni.

Poikkipalkkia nostetaan ja lasketaan seuraavalla periaatteella. Moottorin ja vaihteiston muodostama mekanismi pyörittää väliakselia, jonka molemmissa päissä on hammashihnarullat. Molemmissa lineaarijohteissa on kelkat, joihin poikkipalkki pultataan kiinni. Hammashihnat ovat kiinni kelkoissa ja näin ollen hammashihnat nostavat poikkipalkkia, kun mekanismi pyörittää hammashihnarullia.

Projektin alussa moottoriksi oli suunniteltu 120 W:n 3-vaihemoottori ja vaihteeksi kulma- vaihde välityssuhteella 15:1. Tätä moottoria ohjataan taajuusmuuttajalla logiikan kautta. Moottorin oma vääntö on 18,30 Nm, joten kaavalla $\frac{MI}{r} = F$ mekanismin tuottamaksi maksimi voimaksi saatiin 8368,9 N. Kaavassa säteenä käytettiin hammashihnapyörän sädettä.

Edellä mainittu moottorikäyttö on reilusti ylimitoitettu tähän projektiin. 8,4 kN:n nostovoima on huomattavan suuri, kun poikkipalkin massaksi arvioidaan 50 kg ja poikkipalkin kuormaksi 30 kg, tällöin tarvittava nostovoima olisi noin 786 N. Varman toiminnan kannalta maksimivoiman pitää olla teoreettista nostovoimaa suurempi, jotta hissi liikkuu sulavasti. 8,4 kN on kuitenkin turhan suuri ja hengenvaarallinen, sopiva maksimi voimaa on välillä 1–2 kN.

Lisäksi kyseinen moottorikäyttö soveltuu huonosti hyllystöhissin ohjaukseen, koska käytöllä ei ole omaa jarrua, jolla hissin voisi pysäyttää haluttuun korkeuteen. Moottorikäytön ohjausta vaikeuttaa myös se, ettei siinä ole omaa enkooderia, jolta voisi lukea paikka-arvoja ja jolla ohjata hyllystöhissiä. Tämän takia suunniteltiin käytettävän optista paikka-anturia, joka mittaisi poikkipalkin ja lattianvälistä matkaa. Anturin antaman tiedon kautta

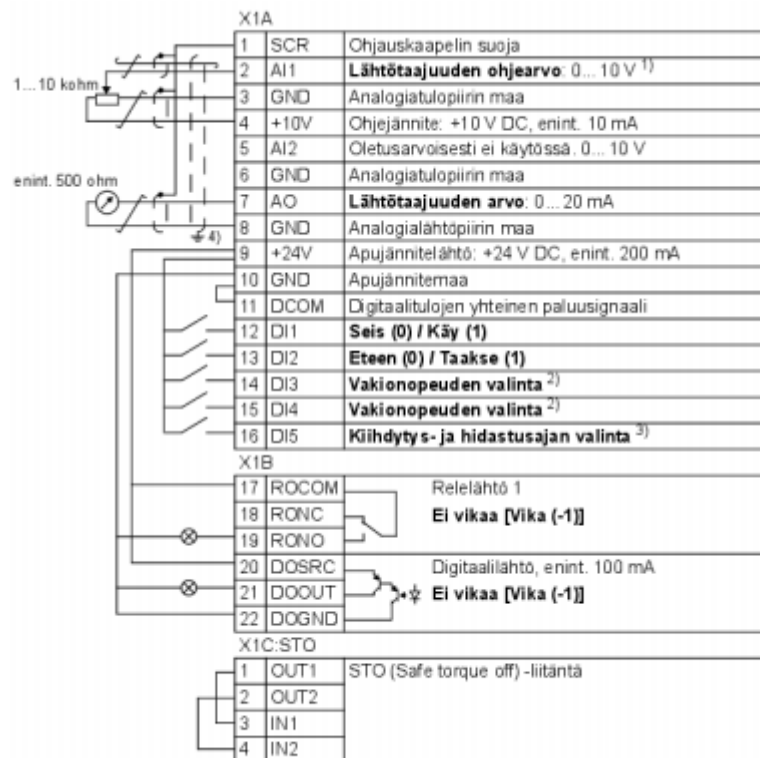
logiikka ohjaisi moottoria taajuusmuuttajan tai kontaktorien kautta päälle-pois-menetelmällä, kunnes mitattava matka vastaisi valitun kerroksen korkeutta.

9.3 Ohjausperiaatteen kehitysvaihtoehdot

Ohjausperiaatetta pitää kehittää moottorin ja sen ohjauksen osalta, mihin on eri vaihtoehtoja. Moottorikäyttö täytyy myös mitoittaa uudelleen, sillä nykyinen on ylimitoitettu. Moottorikäytössä on myös oltava jarru, jos valitussa moottorissa ei ole omaa jarrua, on silloin tilattava erillinen jarru.

- Kontaktoriohjaus uudelleenmitoitettavaan 3-vaihemoottorikäyttöön. Moottorin ohjaus voitaisiin toteuttaa kahdella kontaktorilla, joista toinen ohjaa hissiä alas ja toinen ylös. Tässä toteutuksessa ohjelma saa paikka-arvon poikkipalkkiin sijoitettavalta optiselta paikka-anturilta. Tässä ratkaisussa ajonopeuden on oltava todella hidas, koska hissiä voitaisiin ajaa vain yhdellä nopeudella ja liian suuri nopeus vahingoittaa mekanismeja. Tämä on todennäköisesti kustannustehokkain ohjausratkaisu.
- Taajuusmuuttaja ohjaus uudelleenmitoitettavaan 3-vaihemoottorikäyttöön. Taajuusmuuttaja käytössä paikka-arvo luetaan kontaktoriohjauksen tapaan optisella paikka-anturilla. Taajuusmuuttajaan logiikka voidaan yhdistää sekä I/O-johdotuksella, että väyläkaapelilla. EtherCat sopii ainakin joihinkin ABB:n taajuusmuuttajiin. Taajuusmuuttajalla moottoria voidaan kiihdyttää ja jarruttaa muuntamalla taajuutta, joten hissiä voidaan ajaa suuremmilla nopeuksilla kuin kontaktoriohjauksessa. Ideana on, että taajuusmuuttajaa ohjataan logiikalta joko jännite- tai virtaohjeavolla, jonka mukaan taajuus ja sitä myötä moottorinnopeus muuttuvat. Myös moottorin pyörimissuunta on valittavissa taajuusmuuttajan I/O-paikoista. Taajuusmuuttajassa voi olla esimerkiksi kuvan 18 mukaiset vakiokytkentäpaikat, kuvassa esitellään ASC355-muuntajan I/O-kytkentöjä.
- Moottorinohjainkorttiohjaus uudelleenmitoitettulla Movetecin servomoottorilla. Movetec on tarjonnut ohjausratkaisuksi kahta servomoottorikäyttöä, 750 W:n ja 200 W:n tehon moottorikäyttöä. Näitä moottoreita ohjataan moottorinohjainkortin

kautta, johon otetaan yhteys EtherCat-väyläkaapelilla. Paikka-arvot saadaan servomootoreihin kuuluvilta absoluuttisilta kulma-antureilta eli endkoodereilta. Ajonopeutta voidaan säätää vapaasti ohjelmoimalla ohjainkorttia ja porrastettu liikkeellelähtö on mahdollinen, jolloin hissiä voidaan ajaa nopeammin kuin esimerkiksi kontaktoriohjauksessa.



Kuva 18. I/O-ohjainkortin (ASC355) I/O-paikat.

Kuva 18. ABB:n ASC355 muuntajan I/O-paikat.

9.3.1 Movetecin uusi moottoritarjous

Edellisessä luvussa mainittujen 3-vaihemootorin puutteiden takia Movetecilta pyydettiin uusi tarjous sopivammasta moottorikäytöstä. Jarrullisia servomootoreita, joissa on oma absoluuttinen enkooderi, on tarjottu kahta eri teholuokkaa, 750 W:n ja 200 W:n moottorikäyttöjä. Molemmista käytöistä on vastaanotettu erillinen tarjous. Moottorikäyttöjä ohjataan moottorin ohjainkortin kautta ja logiikalta otetaan yhteys EtherCat-väyläkaapelilla. Väyläkaapeliliitännällä on useita etuja esimerkiksi digitaalisin sisääntuloliitännöihin verrattuna, jotka myös ovat yksi liitännävaihtoehto tässä käytössä. Sisääntuloja varten pitäisi

ohjainkortilta varata kaksi paikkaa jokaista hyllystön kerrosta kohden eli yhteensä 16. Lisäksi moottorinohjainkorttiin täytyisi esiohjelmoida paikka-arvo jokaista sisääntuloa kohden eli jokaisen kerroksen kyytiinotto- ja paikoilleenvientikorkeus. Väyläliitännällä pienennetään johdotustyötä ja helpotetaan ohjainkortin esiohjelmointia.

Väyläkaapelin ja ohjainkortin kautta servo saa tiedon liikuttaa hissiä ylös tai alas, kunnes servon enkooderilta luettava paikka-arvo vastaa valitun kerroksen paikka-arvoa. Tällöin logiikka pysäyttää hissin liikkeen vertikaalisuunnassa ja servon jarru lukitsee hissin paikoilleen tarvittavaksi ajaksi. Tämän jälkeen tarttumat ottavat tai laittavat hyllystä tai hyllyyn kasvatusalustan. Tarttujien ohjausperiaate on edelleen sama kuin edellisessä luvussa esitetty.

Lisäksi laitteiston kulmavaihte vaihdetaan planeetta vaihteeseen, joka sopii kulmavaihteesta paremmin servokäyttöön. Uudet moottorikäytöt on mitoitettu sopivammaksi ja jatkotarkastelussa niistä valitaan teholtaan sopivampi tähän projektiin.

750 W:n servomoottorikäytön verollinen hinta on 1585,96 €. Tarjous sisältää ohjainkortin, väyläkaapelin, moottorin, vaihteen, sekä muita kaapeleita ja suodattimen. 200 W:n servokäytön verollinen hinta on 1383,84 € suoralla planeettavaihteella; kulmaplaneetalla käyttö on 126 € kalliimpi.

9.3.2 Servomoottorin käyttöönotto

Servomoottorin enkooderiin pitää käyttöönotossa kalibroida nollapiste, jonka on hyvä olla lattiatasolla lepotukien päällä. Nollapisteen kalibroinnin jälkeen enkooderi muistaa nollapaikan, eikä sitä tarvitse uudelleen kalibroida edes sähkökatkon jälkeen. Kuitenkin jos nostimen hammashihna pääsee luistamaan, täytyy suorittaa uudelleenkalibrointi, koska silloin enkooderin antama paikka-arvo ei enää vastaa poikkipalkin todellista matkaa nollapisteestä. Servokäytöissä enkooderi on absoluuttianturi eli erillistä kotipisteanturia ei tarvita, laitteeseen voidaan kuitenkin erikseen lisätä mekaaniset turvaraja-anturit. Turvaraja-antureilla voitaisiin estää kolari, jos hammashihna pääsee jostain syystä luistamaan.

Ohjainkortti ohjaa servomoottoria pulsseilla, joten käyttöönotossa täytyy laskea, kuinka paljon hissi liikkuu pulssia kohden. Moottorinohjainkortti on vapaasti ohjelmitavissa, joten siihen voidaan ohjelmoida erinopeuksia. Perusidea on, että hitaalla nopeudella lähdetään liikkeelle, pidemmät matkat voidaan ajaa nopeammalla nopeudella ja ennen pysäytystä ajetaan hitaalla.

9.4 Moottori käytönvalinta

Jos laitteisto halutaan rakentaa mahdollisimman edullisesti ja hissien ajonopeus voi olla niin hidas, että siihen välittömästi kiihdytettäessä mekanismi ei vaurioitu, suositellaan käytettäväksi kontaktorihjausta. Kontaktorihjaus on kustannustehokkain ratkaisu.

Jos hissiä halutaan ajaa nopeudella, jolla kasvit saadaan siirretyksi alle minuutissa, on valittava taajuusmuuttaja tai ohjainkorttiohjaus. Valinta suositellaan tehtävän hinnan mukaan, joten taajuusmuuttajan hinta täytyy selvittää ja sille on valittava jarrullinen 3-vaihemoottori. Näitä hintoja vertaillaan Movetecin tarjoaman servomoottori käytön hintaan, joka on 1383,84 € tai 1585,96 € riippuen moottorin tehosta. Molemmilla toteutustavoilla saavutetaan samankaltainen käytettävyyys.

9.5 Logiikkavertailu

Logiikkavertailussa valitaan hyllystöhissille sopiva ohjauslogiikka. Tämä työvaihe jäi kesken, joten projektia pitää jatkaa tästä. Tässä luvussa on kuitenkin listattuna logiikkaratkaisuja, jotka sopivat tai eivät sovi ohjaamaan hyllystöhissiä. Tärkein vaatimus, jolla ratkaisuja karsittiin, oli yhteensopivuus ICE61131-3:n mukaisten PLC-ohjelmointikielten kanssa.

Muita tarpeellisia ominaisuuksia sopivalle logiikalle ovat seuraavat:

- EtherCat -väyläkaapeli liitântä on kustannustehokkain liitântätapa valittuihin servomootoreissa, ja väyläkaapeli sisältyy vastaan otettuun tarjoukseen. EtherCatilla voidaan liittyä myös taajuusmuuttajiin, mikäli taajuusmuuttajaohjaus valitaan lopulliseksi ratkaisuksi.

- Perinteisiä I/O paikkoja tarvitaan painonapeille ja mahdollisille turvaraja-antureille.
- Logiikan editorin on hyvä olla sellainen, johon CODESYS-ohjelma voidaan siirtää pienillä muutoksilla tai sellaisenaan. Esimerkkieditoreja, joihin voidaan siirtää pienillä muutoksilla, ovat TwinCat ja automation builder (Beckhoff ja ABB).

9.5.1 Yhteensopivuus CODESYSin kanssa

Nämä kaksi logiikkaa sopivat yhteen CODESYS ohjelman kanssa pienin muutoksin ja tukevat ICE61131-3 kieltä:

- Beckhoff CX8090 tai vastaava CX8000- tai CX9000-tuoteperheen Beckhoff-logiikka. Beckhoff-logiikoita ohjelmoidaan TwinCat-nimisellä ohjelmalla, joka on samankaltainen CODESYSin kanssa. Luotu ohjausohjelma on mahdollista kopioida TwinCatiin pienillä muutoksilla. Tällä logiikalla taajuusmuuttajaa ja ohjainkorttia voitaisiin ohjata EtherCat-väyläkaapelilla, kontaktoreja voitaisiin ohjata I/O-paikoista lähetettävällä signaalilla.
- ABB PM5650-2ETH tai vastaava ABB-logiikka. ABB logiikoita ohjelmoidaan Automation Builder -nimisellä ohjelmalla, joka on rakennettu CODESYS-ympäristön päälle. CODESYSillä tehty ohjausohjelman voisi siirtää pienillä muutoksilla Automation Builderiin ja näin ollen käyttää sitä ohjaamaan hyllystöhissiä kyseisellä logiikalla. Väylävaihtoehtoja logiikassa on 2 x Ethernet, RS232/485 ja CAN; kontaktoreja voidaan ohjata I/O-kortinkautta.

Esimerkiksi Wagon PFC 200-logiikan konfigurointi tapahtuu puhtaasti CODESYSillä, eli kyseiseen logiikkaan luotu ohjausohjelma sopii suoraan. Logiikkaa voidaan ohjelmoida kahdessa eri ympäristössä, e!COCKPIT (pohjautuu CODESYS V3) ja WAGO-I/O-PRO V2.3 (pohjautuu CODESYS V2.3). Logiikassa on neljä Ethernet-paikkaa, ja siihen voidaan lisätä I/O kortteja. PFC 200 on logiikka tuoteperhe, yksittäisen PFC 200 logiikan hinta on 500 € ja 1000 € välillä. PFC 200 G2 logiikoihin on saatavilla EtherCat liityntä erillisellä lisenssillä.

Beckhoffilta tiedusteltiin logiikan CX8090 hintaa, joka on noin 375€. Samalla Beckhoffilta saatiin Windowsilla toimivia vaihtoehtoisia logiikoita, jotka voidaan yhdistää etävalvomoon ja/tai kännykkä ohjaukseen. CX8090 soveltuu hyvin hissin ohjaukseen käyttöpaneelikäyttöliittymällä, mutta logiikoilta CX9020 (495 €) ja CX5230 (1100 €) voidaan liittää ylemmälle tasolle, eli näissä etävalvomo- ja kännykkäohjaus ovat mahdollisia. CX5230 on Beckhoffin tehokkaimpia ja kehittyneimpiä logiikoita, CX8090 on tavallinen peruslogiikka vaatimattomampaan käyttöön ja CX9020 on näiden välimalli. Logiikalla CX8090 voidaan kuitenkin toteuttaa kustannustehokkaasti tämänhetkinen käyttöpaneeliohjaussuunnitelma sekä ohjata hissiä täysautomaattisesti anturointi tietoihin pohjautuen.

Hyllystöhissin moottorin ohjaus voitaisiin toteuttaa muillakin sulautetuilla järjestelmillä, kuin PLC-logiikoilla, mutta silloin täytyisi kirjoittaa kokonaan uusi ohjausohjelma, Pythonilla tai sen kaltaisella kielellä. Esimerkiksi Raspberry Pi sopii moottorinohjaukseen, mutta se tarvitsee relekortin tai muita lisälaitteita, koska sen oma ulostulojännite on liian pieni moottorin ohjaukseen (Raspberry pi foundation: 1) Raspberry Pi voidaan saada toimimaan ICE61131-3-kielillä, mutta tätä varten pitää ostaa lisäohjelma, kuten CODESYS Control for Raspberry Pi MC SL (Voss 2020). Raspberry Pin oletuskieli on Python. Lisäksi hyllystöhissille halutaan pitkää käyttöikää ja toimintavarmuutta, joten teollisuudessa yleisesti käytettävät automaatio ratkaisut ovat sopivampia vaihtoehtoja tähän projektiin.

9.5.2 Valinnan tekeminen

Tutkitun aineiston perusteella voidaan todeta, että CX8090 ja PM5650 ovat molemmat hyviä ohjausratkaisuja tähän projektiin. Raspberry Pi ja muut sen kaltaiset sulautetut järjestelmät eivät ole ideaaleja tähän projektiin, koska ohjelma on tehty PLC-ohjelmointikielillä. Raspberry soveltuu hyvin koulutuskäyttöön ja kokeelliseen käyttöön, mutta sen käyttö teollisuudessa on kiisteltyä ja yleisesti sitä pidetään huonona ohjaimena teollisuudessa (Greenfield 2019: 1). Hyllystöhissille on kaavailtu 15 vuoden käyttöikää, jonka PLC-logiikat voivat ohjainyksikön puolesta taata.

Mikäli hyllystöhissin moottorikäyttöksi valitaan jompikumpi Movetecin tarjoamasta servo-käytöstä, on silloin suositeltavaa käyttää Beckhoffin CX8090-logiikkaa. Kyseisten moottoreidenohjainkorttia käytetään EtherCat-kaapelilla, joka on myös Beckhoffin tuote ja CX8090-logiikassa käytetty väylä.

Taajuusmuuttaja- tai kontaktorihjaukseen suositellaan Wacon PFC200-logiikkaa, jos sen hinta ei ylitä merkittävästi CX8090:n hintaa. PFC 200-logiikkaa suositellaan, koska siihen on ehdottomasti helpoin siirtää luotu ohjausohjelma.

10 Yhteenveto

Tämä insinööriö tehtiin Little Garden -kaupunkikasvattamolle osana Digi-Salama-hanketta. Little Garden tarvitsee hyllystöhissiä automatisoidakseen kerrosviljelyprosessinsa. Insinööriöissä jatkettiin aiemmin aloitettua projektia.

Insinööriön ensimmäinen päätavoite oli valmistaa prototyyppi hyllystöhissin pneumaattisesta tarttujasta. Prototyyppi oli tärkeä tuotekehityksen kannalta, ja sen tarkoitus oli osoittaa suunnitelmien puutteet.

Toinen päätavoite oli ohjausjärjestelmän selvittely. Tämä tavoite piti sisällään alustavan ohjausohjelman luomisen, ohjausperiaatteen selvitys ja kehitystyön sekä logiikkavertailun.

Kolmas päätavoite oli 3D-mallien päivittäminen ja hissien liikesimulaatio, jolla on digitaalisen kaksosen ominaisuuksia.

10.1 Yhteenveto tarttujaprototyypin osalta

Prototyypin valmistusvaiheessa haasteita kohdattiin lähinnä särmäystövaiheessa. Haasteita tässä kohtaa aiheutti tarttujalaitteen vaikea geometria, jonka takia täytyi tehdä 90°:n ja 45°:n taitoksia pienillä etäisyyksillä.

Prototyypin valmistusvaiheen tavoitteet täyttyivät, sillä saatiin toimiva pneumaattista sylinteriä oikea oppisesti kuormittava tarttujalaitte. Teleskooppijohteet todettiin oikeaksi ratkaisuksi, sillä ne poistavat hankauskitkaa ja tukevat laitetta niin, että sylinteri kuormittuu oikein. Prototyyppi kuitenkin osoitti, että laitetta tarvitsee tukea isommalta alueelta. Nykyiset johteet tukevat sisälevyä ainoastaan puolelta pituudelta. Varsinaisiin laitteisiin tulisi asentaa johteet, jotka tukevat sisälevyä mahdollisimman suurelta pituudelta. Näin vältytään siltä, että massa taittaa sisälevyä ulkolevyä vasten ja aiheuttaa pientä hankauskitkaa ja kulumista. Lisäksi valmistusvaihe osoitti, että tarttujan geometriaa voisi muuttaa vieläkin yksinkertaisemmaksi, eli 45°:n kulmat voisi poistaa.

10.2 Yhteenveto 3D-suunnitelmista, simulaatiosta ja alustavasta ohjausohjelmasta

Suunnitelmia ja 3D-malleja paranneltiin, ja uudet mallit selkeyttävät erityisesti tarttujen valmistusta. Päivitetyistä malleista on helpompaa hahmottaa nostinkonseptin toimivuus, koska uudet mallit koostuvat todellisten osien tarkoista malleista. 3D-malleihin voi projektin edetessä lisätä varsinaisen moottorin, anturoinnin ja turvallistamisen mallinnukset. Jos päätetään käyttää Movetecin tarjoamaa servokäyttöä, niin kulmaplaneetan ja suoraplaneetan sopivuutta laitteeseen voi vertailla 3D-malleissa.

Alustavaa ohjausohjelmaa lähdettiin kehittämään sekä osana ohjausjärjestelmän selvitystyötä ja osana simulointia. Simuloinnin kannalta oli merkittävää tehdä erillinen ohjausohjelma, koska silloin simulaatio vastaa paremmin todellista suunnitteilla olevaa laitteistoa sillä perusteella, että molempia voidaan ohjata samalla ohjelmalla. Tulokseksi saatiin toimiva ohjausohjelma, jossa samaa sekvenssiä (liike kyytiinottokorkeuteen, poiminta, liike paikoilleenvientikorkeuteen, paikoilleen laitto) on käytetty kaikkien mahdollisten liikkeiden toteutukseen. Sekvenssi toistuu siis 64 kertaa ja on rakenteeltaan aina sama ainoastaan muuttujat ovat eri muuttujia sen mukaan mistä kerroksesta mihin kerrokseen kasvit halutaan siirtää. Ohjelma ajaa moottoria myötä tai vastapäivään paikka-anturilta saatavan paikka-arvon mukaan.

Jatkossa ohjausohjelmaan voisi vielä kehittää toiminnon, joka palauttaa kasvatusalustan takaisin lähtöpisteeseen, mikäli hissi joudutaan pysäyttämään kesken ajon. Tällä hetkellä hissi ajaa kolarin kasvatusalustalla, jos hissillä on sellainen kyydissään pysäytettäessä. Kolari tapahtuu, kun pysäytys lopetetaan ja tällöin ohjelma alkaa alusta normaalisti eikä huomioi kyydissä olevaa alustaa. Lisäksi jatkaja valitsee lopullisen PLC-logiikan, suunnittelee varustelun sekä kehittää koneturvallisuutta.

10.3 Ohjausjärjestelmän selvitystyön yhteenveto

Nostinkonseptin ohjausperiaatetta selvitettiin ja suunnitelmia jatkettiin, sillä projektin alussa oli vielä epäselvää, minkä laitteen kautta logiikalla ohjataan moottorikäyttöä. Selvitystyön tulos oli, että alkuperäistä 3-vaihemoottoria voitaisiin ohjata taajuusmuuttajalla

tai kontaktoreilla. Kyseinen moottorikäyttö oli reilusti ylimitoitettu, ja selvitystyössä kävi ilmi, ettei siinä ole jarrua, jolla hissin voisi pysäyttää haluttuun kerrokseen.

Selvitystyötä jatkettiin tutkimalla eri ohjausvaihtoehtoja, jotka ovat kontaktoriohjaus, taajuusmuuttajaohjaus sekä ohjainkorttiohjaus Movetecin uusiin servomoottoreihin. Kontaktoriohjausta suositellaan käytettävän, mikäli laitteisto halutaan toteuttaa mahdollisen halvalla. Kontaktoriohjauksen huono puoli on todella hidas ajonopeus, koska moottoria voidaan ajaa vain myötäpäivään tai vastapäivään täydellä nopeudella. Tämän takia on välttämättä vaihde, joka liikuttaa hissiä hyvin hitaasti, jotta mekanismi ei vahingoitu. Taajuusmuuttajaohjaus tai ohjainkorttiohjaus valitaan, mikäli laitteistoon ollaan valmiita käyttämään enemmän rahaa, tai halutaan ajaa hissiä nopeammin. Valinta suositellaan tekemään hinnan mukaan, eli taajuusmuuttajakäytön hinta pitää vielä selvittää ja verrata sitä Movetecin tarjoamien servomoottorikäyttöjen selvitettyyn hintaan.

Mikäli päätetään käyttää servomoottoria ja ohjainkorttia, tulee kahdesta eri moottorikäytöstä valita sopivampi, joko 750 W:n moottori tai 200 W:n moottori. Molemmille moottoreille on erilliset tarjoukset, joihin kuuluu moottorikohtaiset ohjainkortit, väyläkaapelit ja muut tarvittavat lisälaitteet. Myös planeettavaihteen osalta täytyy valita suora tai kulmaplaneetta sen perusteella, kumpi sopii tähän työhön paremmin. Valittu moottorikäyttö lisätään siis pääkokoontaan, jossa sommitellaan sen sopivuutta kokoonpanoon.

PLC-logiikan valinnan osalta ei tehty lopullisia päätöksiä, joten PLC-logiikan valinta on yksi jatkotyövaihe tälle projektille. PLC-logiikan valinnassa kannattaa ottaa huomioon CODESYSillä kirjoitetun alustavanohjelman siirtomahdollisuudet ja erityisesti liitäntä EtherCat-väylällä. EtherCat-väylä on Movetecin suosittelu ja tarjoama väyläratkaisu suunnitellussa servomoottorikäytössä.

Lähteet

Barata, J; Monteiro, J; Nunes, J; & Veloso, L; & Veloso, M. 2018. Towards Sustainable Digital Twins for Vertical Farming. Conference Publication. Verkkoaineisto. IEEE. <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8847169/metrics#metrics>>. Luettu 4.11.2020.

Bernard, Marr. 2017. What Is Digital Twin Technology - And Why Is It So Important. Verkkoaineisto. Forbes..<<https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2017/03/06/what-is-digital-twin-technology-and-why-is-it-so-important/?sh=43d53e072e2a>>. Luettu 4.11.2020.

Bertram, Sam. 2019. Automation: The final frontier of vertical farming. Verkkoaineisto. Agritecture. <<https://www.agritecture.com/blog/2019/5/10/automation-the-final-frontier-of-vertical-farming>>. Luettu 9.9.2020.

BK9000, BK9050 and BK9100. 2020. Verkkoaineisto. Beckhoff. <https://download.beckhoff.com/download/document/io/bus-terminals/bk9000_bk9050_bk9100en.pdf>. Luettu 9.3.2021.

Buddas, Eva. 2019. Julkaisut. Verkkoaineisto. Logicor. <<https://logicor.eu/fi/fi/julkaisut/case-studies/moderni-hyllystohissi-tuo-tehoa-ja-sujuvuutta-iron-mountain-finlandin>>. Luettu 2.3.2021.

CX-One ja logiikkaohjelmointi. 2009. Verkkoaineisto. Omron. <https://www.myomron.com/downloads/9.Local%20Material/Finnish/CX-One%20ja%20logiikkaohjelmointi%202009_2.pdf>. Luettu 9.11.2020.

Detailed information for: PM5650-2ETH-XC. 2021. Verkkoaineisto. ABB. <<https://new.abb.com/products/1SAP341000R0278/pm5650-2eth-xcac500-cpu-80mb-24vdc-eth>>. Luettu 9.3.2021.

Fearon, Aleksei. 2016. CODESYS-oppimisympäristö. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Greenfield, David. 2019. Is Raspberry Pi Ready for Industry. Verkkoaineisto. Automationworld.<<https://www.automationworld.com/products/control/blog/13319680/is-raspberry-pi-ready-for-industry>>. Luettu 12.4.2021.

Hulkkonen, Veli. 2006. Pneumatiikan perusteita Toimilaitteet. Verkkoaineisto. Salhydro. <<https://www.salhydro.fi/files/PDF/13.pneumatiikan-perusteita-toimilaitteet.pdf>>. Luettu 14.8.2020.

Jordas, Robert. 2020. Yritysvierailu. Robbes Lilla Trädgård Ab.

Kovanen, Kasper. 2018. Metsätaimituotanto teknologia 2018. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Laaksonen, Harri. 2019. 3D-tulostus muuttaa yritysten liiketoimintamalleja ja globaalin talouden tasapainoa. Verkkoaineisto. Tampereen korkeakouluyhteisö. <<https://tamkjournal.tamk.fi/3d-tulostus-muuttaa-yritysten-liiketoimintamalleja-ja-globaalin-talouden-tasapainoa/>>. Luettu 15.12.2020.

Laserleikkaus. Verkkoaineisto. Ionix. <<http://www.ionix.fi/fi/teknologiat/lasertyosto/laserleikkaus/>>. Luettu 7.9.2020.

Lehtonen, Jaakko. 2021. Sähköpostikeskustelu. Little garden Oy. Käyty 2.3.2021.

Little Garden. Verkkoaineisto. Little Garden Oy. <<https://littlegarden.fi/>>. Luettu 8.9.2020.

Physical Computing with Python. Verkkoaineisto. Raspberry Pi Foundation. <<https://projects.raspberrypi.org/en/projects/physical-computing/14>>. Luettu 5.3.2021.

Piironen, Tomi. 2013. Teräsrakenteiden suunnitteluohjeita parempaan valmistettavuuteen. Verkkoaineisto. Savonia. <<http://portal.savonia.fi/pdf/julkaisutoiminta/2013-hitnet-suunnittelijanopas.pdf>>. Luettu 1.3.2021.

Programming the Sequential Function Chart (SFC). Verkkoaineisto. CODESYS online help. <https://help.codesys.com/api-content/2/codesys/3.5.13.0/en/_cde_programming_in_sfc/>. Luettu 11.11.2020.

PTFE, polytetrafluorieteeni (Teflon). Verkkoaineisto. Fluorotech. <<https://fluorotech.fi/PTFE>>. Luettu 14.8.2020.

Ramirez, Vanessa Bates. 2018. This 3D Printed House Goes Up in a Day for Under \$10,000. Verkkoaineisto. Singularity Hub. <<https://singularityhub.com/2018/03/18/this-3d-printed-house-goes-up-in-a-day-for-under-10000/>>. Luettu 15.12.2020.

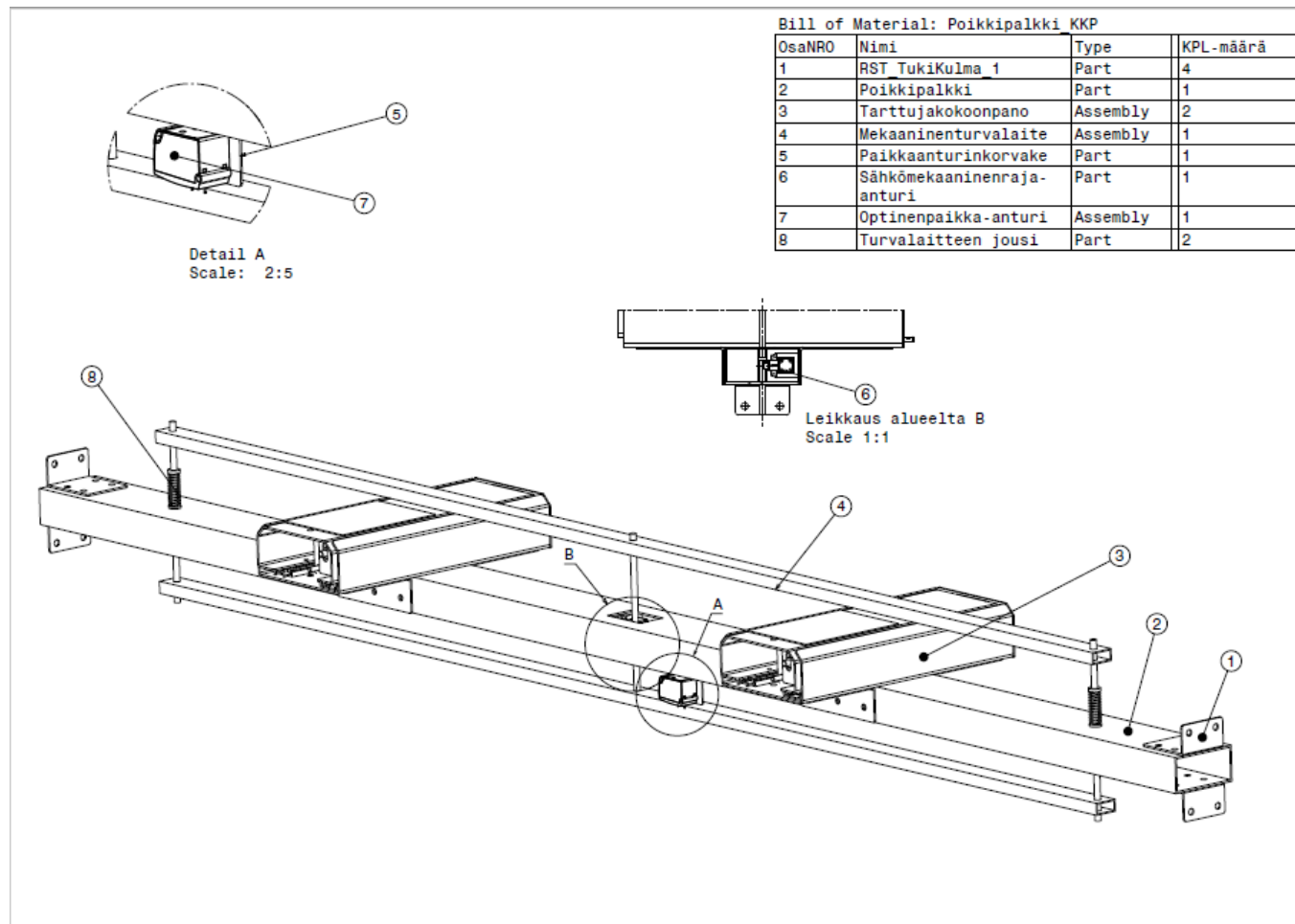
Raspberry Pi 4 Computer Model B. 2019. Verkkoaineisto. Raspberry Pi Trading Ltd. <https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/bcm2711/rpi_DATA_2711_1p0_preliminary.pdf>. Luettu 9.3.2021.

Rosen, Wichert, Lo, & Bettenhausen. 2015. About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. Verkkoaineisto. Science Direct. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896315003808>>. Luettu 26.10.2020.

Structured Text Tutorial to Expand Your PLC Programming Skills. 2015. Verkkodokumentti. PLC Academy. <<http://www.plcademy.com/structured-text-tutorial/>>. Luettu 12.11.2020.

Voss, Wilfried. 2020. CODESYS Control For Raspberry Pi Allows PLC Programming According To IEC 61131-3. Verkkoaineisto. Copperhill technologies. <<https://copperhilltech.com/blog/codesys-control-for-raspberry-pi-allows-plc-programming-according-to-iec-611313/>>. Luettu 5.3.2021.

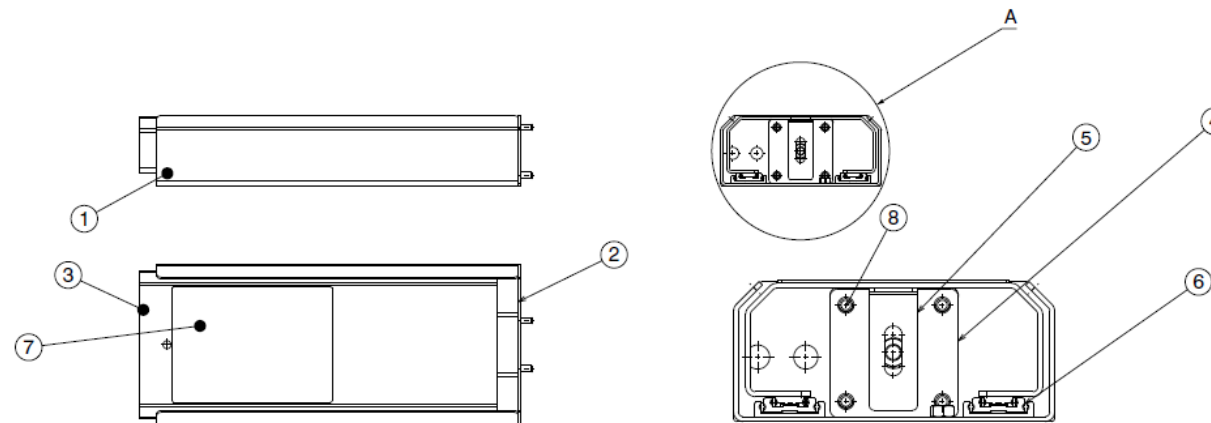
Poikkipalkin osaluettelo



Tarttujan osaluettelo

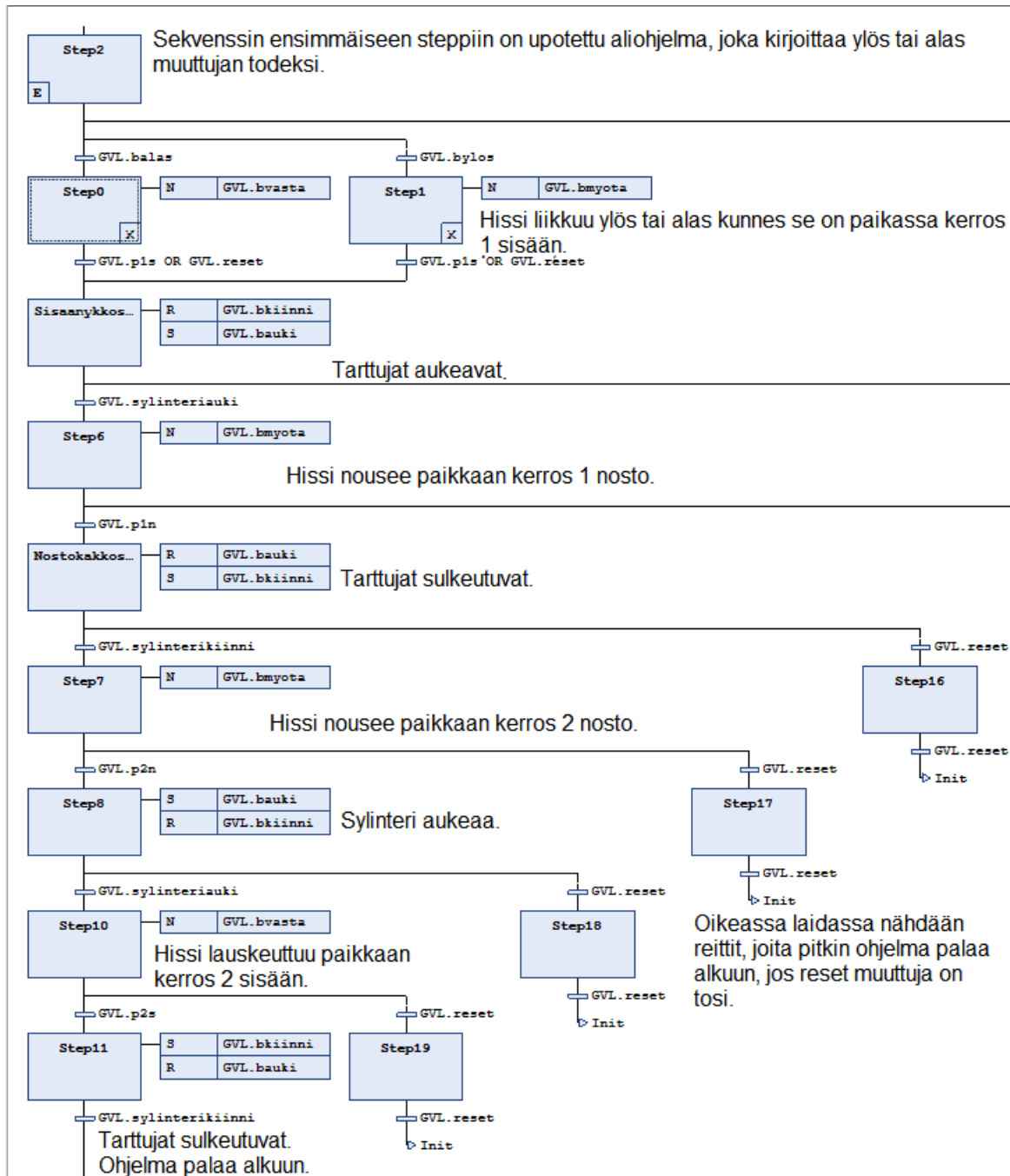
Bill of Material: TarttujaKKP

NRO	Nimi	Type	Kauppanimi	KPL-määrä
1	Alalevy	Part		1
2	Takalevy	Part		1
3	Sisalevy	Part		1
4	SylinteriKKP	Assembly		1
5	Kärkikulmarauta	Part		1
6	Teleskoppijohde	Part	glissiere-d444-0250-0_1	2
7	Asennusaukonkansi	Part		1
8	Kierretappi	Part		4



Detail A
Scale: 2:5

Pääohjelman sekvenssin selityskuva



Robbes Lilla Trädgård Ab:n kerrosviljelylinjasto

